

Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ)
des Instituts für
Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereichs Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

**DIE UNTERSUCHUNG DER HAFTFÄHIGKEIT ZAHNÄRZTLICHER
VERSIEGLER AM ZAHNSCHMELZ BEI EINER VOR UND NACH
DEM ANÄTZEN DURCHGEFÜHRTEN FLUORIDIERUNG SOWIE
RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE
OBERFLÄCHENUNTERSUCHUNGEN ZU DIESEM PROBLEM**

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Kai Röhrich
aus Temeschburg

1903



Aus der Abteilung für Mikromorphologie
(Leiter: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ)
des Instituts für Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

DIE UNTERSUCHUNG DER HAFTFÄHIGKEIT ZAHNÄRZTLICHER VERSIEGLER
AM ZAHNSCHMELZ BEI EINER VOR UND NACH DEM ANÄTZEN DURCHGE-
FÜHRTEN FLUORIDIERUNG SOWIE RASTERELEKTRONENMIKROSKOPISCHE
OBERFLÄCHENUNTERSUCHUNGEN ZU DIESEM PROBLEM

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Kai R ö h r i c h
aus Temeschburg

Referent: Professor Dr. med. dent. Hans LENZ

Korreferent: Professor Dr. med. dent. Siegfried WANDEL

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der
Freien Universität Berlin

Promoviert am: 4. Oktober 1983

Meinen Eltern gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	7
2. LITERATURÜBERSICHT	11
1. Fluoridierung	18
2. Versiegelung	18
3. Kombination: Fluoridierung - Versiegelung	28
4. Eignung von Rinderzähnen zur Prüfung der Haftfestigkeit von zahnärztlichen Werkstoffen	36
5. Haftversuche	37
3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN	39
3.1. Vorversuche	39
1. Auswahl und Vorbereitung der Zähne	39
2. Ermittlung der geeigneten Probenherstellung	42
3. Ermittlung der geeigneten Abzugsvorrichtung	46
4. Ermittlung der auftretenden Kräfte bei endgültigem Versuchsaufbau	49
5. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	50
3.2. Hauptversuche	50
3.2.1. Haftversuche	50
1. Untersuchte Materialien	50
2. Untersuchungsreihen	52
3.2.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	56
3.2.3. Ergebnisse der Hauptversuche	57
1. Haftfestigkeit	57
2. Klinisch irrelevante Brüche	70
3. Statistische Auswertung	72

	<u>Seite</u>
4. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	75
a) Unbeschlossene Zahnoberflächen	75
b) Beschlossene Zahnoberflächen	81
4. DISKUSSION	88
4.1. Haftfestigkeit	88
1. Größe der Haftfestigkeit	90
2. Bewertung des Abrißortes	94
4.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	96
4.3. Klinische Hinweise	98
5. ZUSAMMENFASSUNG	99
6. LITERATURVERZEICHNIS	101
7. TABELLENANHANG	112



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546605_0033

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Zahnkaries gehört heute zu einer der umfangreichsten aller gesundheitlichen Zivilisationsschäden. Die hohe Kariesausbreitung, wie sie besonders in den hochentwickelten Industrienationen zu verzeichnen ist, führt jährlich zu immer höher ansteigenden Kosten und ist mittlerweile ein sozialhygienisches und volkswirtschaftliches Problem geworden.

Daraus resultiert die vordringliche Aufgabe einer effektiven Behandlung und Früherkennung der kariösen Defekte und Läsionen und insbesondere einer sinnvollen Kariesprophylaxe. In der Kariesprophylaxe kann man heute grundsätzlich zwei Richtungen erkennen, wobei vor allem die unterschiedliche Betrachtungsweise des kariösen Geschehens die kariesprophylaktischen Maßnahmen bestimmen.

Die eine Richtung, mit den klassischen Methoden der Kariesprophylaxe, geht davon aus, daß das Kariesgeschehen ein vorwiegend bakteriologisches Problem ist; es wird versucht, die Ursachen der Kariesentstehung zu eliminieren. In diesem Sinne werden folgende Wege beschritten:

- Beseitigung der kariogenen Noxen bzw. eine Verhinderung ihrer Bildung. Hierzu rechnet man:
 - o die Mundhygiene
 - o eine vernünftige Ernährung
- Verbesserung der Widerstandsfähigkeit des Zahnes.
Dazu rechnet man insbesondere die Fluoridierung.

Die Fluoridierung hat einen kariostatistischen Effekt, indem sie eine Resistenzsteigerung der Zahnhartsubstanz

hervorrufen, die Remineralisation fördert und das Säurebildungsvermögen der Mikroorganismen in den Plaques herabsetzt.

Die klassische Kariesprophylaxe kann eine Kariesentstehung nicht verhindern, sie kann aber das Ausmaß der kariösen Erkrankungen bzw. den Kariesbefall reduzieren. Es ist festzuhalten, daß auch heute noch die Kariesprophylaxeforschung im wesentlichen davon ausgeht, die Ursachen der Kariesentstehung zu bekämpfen.

Durch die in den letzten zwei Jahrzehnten gewonnenen Erkenntnisse über die Ultrastrukturen der Zahnhartsubstanzen wie auch andere neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Naturwissenschaften hat sich im letzten Jahrzehnt eine mehr physikalisch-chemische Betrachtungsweise der Karies ergeben. Daraus ergab sich auch eine neue Richtung in der Kariesprophylaxe. Der Schmelz wird dabei als ein mikrokristallines Aggregat angesehen und dessen physikalisch-chemisches Verhalten von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt.

In den Mittelpunkt des Kariesgeschehens rückt der Mechanismus, der zur Karies führt, eine physikalisch-chemische Betrachtungsweise. Die daraus gezogenen Folgerungen für die Kariesprophylaxe führten zur Versiegelung. Sie verhindert den Transport kariogener Noxen in die Zahnhartsubstanz, d.h., das kariöse Geschehen wird unmöglich gemacht. Die Versiegelung führt zu einem randdichten Abschluß okklusaler Fissuren und Grübchen, indem die Kaufläche mit einer, dem Mundmilieu gegenüber widerstandsfähigen und festhaftenden Schutzschicht versehen wird. Die Versiegelung wird hauptsächlich bei Kindern und Jugendlichen durchgeführt, um einen wirksamen Schutz, besonders der sehr wichtigen Sechs-Jahres-Molaren, zu gewährleisten.

Statistische Untersuchungen von HÖFIG (36) über die Häufigkeit der verschiedenen Kariesformen haben ergeben, daß bei Kindern und Jugendlichen die Fissurenkaries überwiegt und gleichzeitig auch die Hauptursache für den Verlust dieser so wichtigen Zähne ist.

Die Vorzüge der lokalen Fluoridierung und Versiegelung sind inzwischen generell anerkannt und werden weitgehend als prophylaktische Maßnahmen durchgeführt.

Zwangsläufig ergab sich die Idee, beide Maßnahmen miteinander zu kombinieren. Voraussetzung für eine solche kombinierte Methode ist, daß beide Methoden sich sinnvoll ergänzen und die positiven Seiten beibehalten werden. Erste Versuche in dieser Richtung - R.E.M.-Untersuchungen und Haftversuche - sind jedoch in der Mehrzahl negativ verlaufen. Die Fluoridierung soll das Haftvermögen der Versiegler am Schmelz herabsetzen.

Als Ursache wird die Bildung eines Belages angegeben. Andere Autoren wieder negieren die Bildung eines Belages bzw. machen das Herabsetzen des Haftvermögens vom angewandten Fluoridierungsmittel abhängig.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist zu klären:

- wie groß die erreichbaren Haftkräfte am Schmelz von Rinderzähnen sind;
- ob eine Beeinflussung des Haftvermögens durch eine Fluoridierung zu beobachten ist und wenn ja:
 - o ob vom angewandten Fluoridierungsmittel abhängig,
 - o ob Variationen des Zeitpunktes der Fluoridierung die Haftfestigkeit beeinflussen;
- ob sich bei unterschiedlichen Lagerzeiten im feuchten Milieu die Haftfestigkeit ändert.

Um diese Fragen zu klären, werden die in den Praxen üblichen Fluoridierungsmittel und Versiegler benutzt. Die Versuchsbedingungen werden so gestaltet, daß sie den unter klinischen Bedingungen vorliegenden Verhältnissen entsprechen.

2. LITERATURÜBERSICHT

1. Fluoridierung

Die Fluoridierung ist eine der wichtigsten Maßnahmen im Rahmen der klassischen Kariesprophylaxe, in der hauptsächlich die Ursachen des Kariesgeschehens bekämpft werden und versucht wird, die Resistenz der Zahnhartsubstanz zu verbessern.

Fluor ist ein stark reaktionsfähiges Element und tritt deshalb meistens in Verbindung mit anderen Elementen auf. Nach NEWSELY (67) ist Fluor ein sehr aggressives Element. Es führt als Fluoridion sowohl zu Reaktionen im biologischen Milieu der Mundhöhle und an der Zahnoberfläche als auch zu chemischen und kristallographischen Reaktionen der Zahnhartsubstanz selbst.

Erste Hinweise, die auf einen kariostatischen Effekt des Fluors deuten lassen, wurden in fluorendemischen Gebieten gemacht. Solche Beobachtungen wurden in Europa im Erzgebirge und in Sizilien gemacht. In den Vereinigten Staaten beobachtete EAGER im Jahre 1901 bei Einwanderern aus Pozzuoli das Auftreten von "geflecktem Schmelz" und bringt diese Veränderungen am Schmelz mit der damit festgestellten Kariesresistenz in Verbindung. Ähnliche Beobachtungen wurden von BLACK 1915 und von MCKAY u. DEAN 1929 gemacht.

Der Freiburger Arzt ERHARDT empfiehlt im Jahre 1874 "Fluortabletten", um die Karies einzudämmen. DENNINGER gab 1907 werdenden Müttern Kalziumfluorid, damit "sich Zähne mit erhöhter Widerstandsfähigkeit entwickeln". Die gemachten Beobachtungen lösten eine Flut von wissenschaftlichen Arbeiten aus.

Es wurden Feldstudien zur Erforschung der Epidemiologie des "gefleckten Schmelzes" durchgeführt. Andere Versuche untersuchten die Wirkungsweise des Fluors. 1939 wurde von COX vorgeschlagen, das Trinkwasser mit Natriumfluorid anzureichern.

Die weitere Entwicklung auf diesem Gebiet führte dann zu unterschiedlichen Applikationsformen:

- Trinkwasserfluoridierung
- Tablettenfluoridierung
- Milchfluoridierung
- Speisesalzfluoridierung
- Lokale Fluorapplikation am Zahn

Nach den heutigen Kenntnissen ist mit folgenden Möglichkeiten einer Fluor-Wirkung zu rechnen:

- Die kristalline Struktur des Apatits wird verbessert und damit eine Kariesreduktion erreicht.
- In der Mundhöhle und in den Plaques wird
 - o das Säurebildungsvermögen der Mikroorganismen herabgesetzt,
 - o die Aktivität der Enzyme der Mikroorganismen beeinflusst und damit die Polysaccharidsynthese dieser gestört.
- Nach erfolgtem Säureangriff wird die Remineralisation beschleunigt, indem die Bildung des Apatits anstelle des weniger resistenten Calciumphosphats gefördert wird.

Bei der Beurteilung der Wirkung des Fluors auf die verbesserten Strukturverhältnisse im Schmelz und damit auf die erhöhte Kariesresistenz muß man unterscheiden zwischen einer Fluoridierung mit Fluoridierungsmitteln mit hoher Fluorkonzentration und Fluoridierungsmitteln mit niedriger Fluorkonzentration.

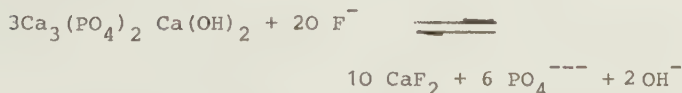
Bei Fluoridierungsmaßnahmen, bei denen niedrige Fluorkonzentrationen benutzt werden, wie dies z.B. bei der Trinkwasserfluoridierung der Fall ist, erfolgt die Resistenzsteigerung der Zahnhartsubstanz durch die chemische Umbildung des Hydroxylapatits. Bei der Umwandlung des Hydroxylapatits, das aus einer apatitähnlichen Vorstufe, dem Oktakalziumphosphat hervorgeht, kommt es zu einer Reduktion, Hydroxylione werden gegen Fluorione ausgetauscht.



Aus: PILZ (76)

NEWESELY (69) hat gezeigt, daß der Reaktionsmechanismus der Umwandlung des Oktakalziumphosphats in Apatit durch Fluor und Karbonat katalysiert wird. Die Umbildung erfolgt in Abhängigkeit von Temperatur und pH-Werten innerhalb eines mehr oder weniger begrenzten Spielraumes, wobei schon Spuren von F^- ($\sim 100 \mu\text{g F}^-/\text{l}$) genügen, um die Reaktion zu beschleunigen.

Bei hohen Fluorkonzentrationen (über 18 mg F/l), wie dies bei den lokal applizierten Fluoridierungsmitteln der Fall ist, kommt es zu einer Auflösung des Hydroxylapatits und der Bildung von Kalziumfluorid (NEWESELY (69), PILZ (76)).



Das Kalziumfluorid bildet eine Deckschicht und stellt ein labiles Fluorreservoir dar, was durch mechanische Ablösung und chemische Auflösung verloren gehen kann. Die Kalziumfluoridschicht gibt F^- sowohl an das Mundmilieu als auch an den Schmelz ab.

Lokal applizierte Fluoridierungsmittel führen auch zu anderen Veränderungen im und am Schmelz:

- MÜHLEMANN (65) und KOCHAVI (44) stellten eine erhöhte Fluorkonzentration fest. Bis zu 8 µm Tiefe 2.000 ppm und insgesamt eine Fluoranreicherung bis zu 50 - 100 µm.
- Stark erhöhte Fluorkonzentrationen nach einer vorhergehenden Behandlung mit Säure (VAHL (79), LOW (75), HOTZ (38), CHOW (16), DE PAOLA (21), DOGON (23)). Diese Feststellung führte auch mit dazu, daß Versuche unternommen wurden, die Fluoridierung mit der Versiegelung zu kombinieren.
- Eine Fluoridierung führt zu einer erhöhten Resistenz gegenüber Ätzmitteln (LEE (48), KOCHAVI (44)).
- In künstlich gesetzten Läsionen ist die Fluoraufnahme höher als im intakten Schmelz (KLIMEK (43)).
- Konzentrierte Fluoridlösungen mit pH-Werten im sauren und alkalischen Bereich können Strukturauflockerungen bis hin zu den durch Säure hervorgerufenen Ätzmuster-ähnliche Strukturen bewirken (MÜHLEMANN (65)).
- Langzeituntersuchungen haben ergeben, daß die hohe Fluorkonzentration im Schmelz zeitlich begrenzt ist. Die Fluoridierung muß in bestimmten Zeitabständen wiederholt werden (MELBERG (60, 61)).

Die Erscheinungsformen des CaF_2 -Belages werden als ziemlich variabel beschrieben, auch das Haftvermögen dieser Präzipitate soll unterschiedlich sein. VAHL u. REINHARDT (79) negieren die Ausbildung einer morphologisch sichtbaren Belagsbildung.

Bei ihren Untersuchungen teilen sie die Fluoridierungsmittel in starke und schwache Elektrolyte ein und versuchen, aufgrund dieser Einteilung die Ausbildung bzw.

das Fehlen eines Präzipitates zu erklären. Ebenfalls bestimmend für die Ausfällung von CaF_2 sei auch die Konzentration der Ca-Ione. Deren Konzentration ist vom Löslichkeitsverhalten des Hydroxylapatits abhängig und dieses wiederum vom pH-Wert. Die schwachen Elektrolyte kommen in wässriger Lösung in kovalenter Form vor, die starken Elektrolyte hingegen in dissoziierter Form. (Schwache Elektrolyte: SnF_2 , $\text{Na}_2\text{PO}_4\text{F}$; starke Elektrolyte: NaF , NH_4F).

Unter physiologischen Bedingungen ($\approx \text{pH} = 6$) liegen Kalziumkonzentrationen (Ca^{2+}) von maximal $10^{-3,5}$ Mol/l) vor. Unter diesen Bedingungen reichen die F-Konzentrationen der schwachen Elektrolyte nicht aus, um CaF_2 -Ausfällen zu lassen. Es kommt zu einem OH-Austausch mit Apatit; es entsteht Fluorapatit.

Bei den starken Elektrolyten liegen Fluorkonzentrationen von $10^{-2} \rightarrow 10^{-1}$ Mol/l vor. Diese Fluorkonzentrationen reichen aus, um CaF_2 -Ausfällungen bis zu einem pH-Wert von 10 zu sichern. Daß diese CaF_2 -Bildung trotzdem nicht sichtbar ist, wird mit der Bildung einer sehr dünnen, nur einigen Moleküllagen-dicken Schicht erklärt, die im R.E.M. nicht sichtbar sei.

Solche dünnen Schichten können mit der E.S.C.A.-Methode nachgewiesen werden. Bei der Fluoridierung mit Natriumfluorid konnte ein Ca/F-Verhältnis von 0,5 nachgewiesen werden.

MÜHLEMANN (65) untersucht das physikalisch-chemische und mikromorphologische Verhalten des Schmelzes nach einer Behandlung mit anorganischen und organischen Fluoridierungsmitteln. Er konnte dabei nachweisen, daß eine Fluoridierung mit konzentrierten Fluoridlösungen zu ei-

ner mikroskopisch sichtbaren Destruktion der äußeren Schmelzschicht, einer partiellen Schmelzdemineralisation und zur Deckschichtbildung führen kann.

Im einzelnen stellte er dabei fest:

- bei anorganischen Fluoridierungsmitteln:

NaF pH = 9,3

- o keine Veränderung der Schmelzoberfläche
- o keine Deckschichtbildung

NaF pH = 5

- o Schmelzdemineralisation mit Ätzmuster
- o eine makroglobuläre Deckschicht, die im Ultraschall nach 5 Minuten entfernt wurde

Na₂PO₃F pH = 6,5

- o eine Demineralisation des Schmelzes
- o Deckschichtbildung, die im Ultraschall nach 5 Minuten entfernt wurde

SnF₂

- o eine leicht veränderte, granulいたe Schmelzoberfläche
- o leicht entfernbare, verstreut herumliegende Reaktionsprodukte

Saures PO₃F₃

- o eine Demineralisation des Schmelzes
- o Deckschichtbildung, die im Ultraschall nach 5 Minuten entfernt wurde

- bei organischen Fluoridierungsmitteln:

Aminfluorid

- | o mit einer typischen, feingranulierten, durchgehenden

Deckschicht, die auch nach einer zehnminütigen Ultraschallbehandlung unverändert blieb.

Die höchste Fluoraufnahme im Schmelz wurde bei der Behandlung mit Aminfluorid festgestellt. Ähnlich hohe Fluorkonzentrationen im Schmelz konnte MARTHALER (39) in tierexperimentellen Versuchen nachweisen.

GWINNETT, BUONOCORE u. SHEYKHOLESLAM (32) untersuchen die Auswirkungen einer Fluoridierung auf ungeätzte Schmelzoberflächen am R.E.M. Sie benutzten dabei folgende Fluoridierungsmittel: TiF_4 , ZrF_4 , NaF 2 %, $\text{Na}_2\text{PO}_4\text{F}$ 2 %, SnF_2 8 %. Alle Fluoridierungsmittel - außer SnF_2 - führten zu einer Belagsbildung. Die Beläge wurden als

- kugelförmig
- makroglöbulär
- mikroglobulär und
- eierschalenartig

beschrieben.

WEI u. STEPHEN (95) untersuchen ebenfalls die Auswirkungen einer Fluoridierung auf angeätzte Schmelzoberflächen. Sie benutzten drei unterschiedliche Fluoridierungsmittel und kamen im einzelnen zu folgenden Beobachtungen:

- Saures PO_4F_3

Es bildet sich ein feines, globuläres Präzipitat, was durch Waschen teilweise entfernbar ist.

- SnF_2 10 %

Es bildet sich eine durchgehende, matte, festhaftende Schicht. Nach gründlichem Waschen bildet sich ein Netzwerk mit tiefen Grübchen.

- NH_4F

Es kommt zur Ausbildung eines granulären Präzipitates.

Neben den organischen und anorganischen Fluoridierungsmitteln, die als Lösungen, Pasten und Gelee angeboten werden, gibt es auch lackartige Mittel:

- Duraphat, das NaF enthält, hat nach SCHMIDT (87) eine länger anhaltende Tiefenwirkung und soll bereits nach einmaliger Touchierung eine signifikante Karieshemmung bewirken.
- Fluor-Protector, ein flüssiger Polyurethanlack mit einer speziellen Fluor-Silan-Verbindung setzt beim Kontakt mit dem Speichel Fluorwasserstoff frei. Dieser dringt leicht und schnell in die Oberfläche des Schmelzes ein und reagiert dort mit Wasser und setzt Fluor-Ione frei:



Die Bindung erfolgt in Form fluoridierten Apatits (nach ARENDS u. SCHUTHOF (4)). Es kommt dabei zu einer signifikanten Fluor-Anreicherung im Schmelz, besonders in den oberen Schichten (2.000 ppm/F).

Die Dauer des kariesresistenten Zustandes, der an der Zahnoberfläche durch Fluoridierungsmaßnahmen erreicht wird, ist zeitlich begrenzt und muß in bestimmten Zeitabständen wiederholt werden. Nach PILZ (76) ist ein protektiver Schwellwert von 1 o/oo (1.000 ppm) anzustreben.

2. Versiegelung

Die Versiegelung ist eine kariesprotektive Maßnahme. Das Prinzip der Versiegelung besteht in einer atraumatischen Abdichtung der Fissuren und Grübchen der Milchmolaren, der bleibenden, Prämolaren und Molaren, indem

die Kaufläche mit einer festhaftenden Schutzschicht versehen wird, der Transport kariogener Noxen in die Zahnhartsubstanz wird verhindert. Wichtige Voraussetzungen für einen guten Versiegler sind:

- Dauerhaftigkeit des Schutzlackes
- Korrosionsfestigkeit
- eine gute Verbindung zum Zahn (Adhäsion)
- rasche Polymerisation, minimale Schrumpfung.

Erste Versuche, das Problem der Fissurenkaries zu bekämpfen, sind von HYATT (39) durchgeführt worden. Er versuchte, durch die prophylaktische Odontomie, d.h. durch Verschleifen eine Einebnung der Fissuren zu erreichen.

Erste Versuche, eine Versiegelung der Fissuren zu erreichen, wurden von GORE (28) mit Methylzellulose durchgeführt. Diese ersten Versuche blieben ohne Erfolg, da die dabei erzielte Verankerung und mechanische Widerstandsfähigkeit des Versieglers nicht ausreichte. Ähnliche negative Ergebnisse wurden mit Methacrylaten erzielt (PILZ (77)).

1959 wurden von COOVER (17) zur Versiegelung Zyanoakrylate benutzt. Als vorteilhaft erwies sich deren leichtflüssige Konsistenz, die für das Eindringen in tiefe und schlanke Fissuren notwendig ist. Entscheidende Nachteile bestanden jedoch darin, daß sie sich nach einiger Zeit unter dem Einfluß des Mundhöhlenmilieus hydrolytisch zersetzen und häufig Reapplikationen erforderlich wurden.

TAKEUCHI (93) u.a. verwendeten deshalb eine Kombination von Äthyl-2-Zynoacrylaten mit Polymethacrylaten und konnten damit wesentlich bessere Resultate erzielen.

Die auf Polyurethanbasis entwickelten Materialien haben sich ebenfalls nicht bewährt, weil sie sehr spröde sind, eine relativ geringe Abrasionsfestigkeit besitzen und damit den Anforderungen eines guten Versieglers nicht entsprechen. Sie werden heute als fluorhaltiger Lack in der Fluoridierung benutzt.

Ebenfalls als zu spröde und mit zu geringer Abrasionsfestigkeit erwiesen sich die Polykarboxylate. Es sind Polymere der Akryl- oder Methakrylsäure mit niedrigem Molekulargewicht. Durch Beimischung eines speziell präparierten Zinkoxids verbinden sie sich sowohl mit dem Schmelz als auch mit dem Dentin und erreichen ein sehr hohes Haftvermögen. Sie werden heute hauptsächlich als Unterfüllungsmaterial verwendet.

Die Schaffung hochwertiger Kompositionskunststoffe hat inzwischen zur Weiterentwicklung der Fissurenversiegelung bis zur sachlichen Praxisreife beigetragen. Besonders die auf der BOWEN-Formel beruhenden Kunststoffe, die Diakrylate, eignen sich aufgrund ihrer Eigenschaften für die Versiegelung. Wir unterscheiden hier:

- die chemisch polymerisierenden zwei Komponenten Kunststoffe, die als Katalysator ein Peroxid-Amin-System besitzen (CUETO u. BUONOCORE (18));
- die UV- und lichtempfindlichen Kunststoffe mit einem lichtempfindlichen Katalysator, dem Benzoinmethylläther (BUONOCORE (13)).

1974 wurden von McLEAN u. WILSON (97) Untersuchungen mit dem Glas-Ionomer-Zement durchgeführt. Es handelt sich um ein Kombinationsmaterial neuer Art, das insbesondere in der adhäsiven Restauration Anwendung findet. Es entsteht infolge einer Härtungsreaktion zwischen einer sauren Polyelektrolytlösung (Polyakrylsäure) und

einem speziellen ionendurchlässigen Kalzium-Aluminium-silikat-Glaspulver. Abbindereaktion und Adhäsion am Zahn beruhen auf einem Austausch von Kalzium- und Aluminium-Ionen. Die hohe Bindungskraft am Schmelz und Dentin wird primär chemischen Anziehungskräften zwischen Zement und Apatit bzw. Kollagen durch Wasserstoffbrückenbildung oder Metallionen-Komplexbildung zugeschrieben und ist ähnlich den Polykarboxylatzementen.

Um eine gute Haftung der Versiegler zu sichern, wird die Zahnoberfläche vorbereitet. Zuerst erfolgt eine gründliche Reinigung der Zahnoberfläche mit Paste (Zircate) und Bürstchen, um das Schmelzoberhäutchen zu entfernen. Danach wird der Schmelz konditioniert, d.h., er wird mit Säure behandelt. Dieser Ätztvorgang dient dazu, um ein Mikroreflief zu schaffen, das dem Versiegler die Möglichkeit gibt, mit dem Schmelz eine innige und feste Bindung einzugehen.

Als Ätzmittel wurden verschiedene Substanzen vorgeschlagen: BUONOCORE (9) benutzt die 85 %ige Phosphorsäure. Andere Autoren benutzen 50 %, 37 %, 35 %, 30 %, 10 %ige Phosphorsäure, 50 %ige Zitronensäure, 10 %ige Ameisensäure, Milchsäure, Brenztraubensäure, Salzsäure in verschiedenen Konzentrationen, EDTA (ABENDROTH (2), CASTAGNOLA (15), GWINNETT (31), LASWELL (47)).

Als bestes Ätzmittel hat sich wegen der schnellen und konstanten Ätzung die Orthophosphorsäure durchgesetzt. SILVERSTONE (90) zeigt den Zusammenhang zwischen Ätztiefe und Konzentration der Phosphorsäure. LUTZ et al. (57) zeigen, daß es bei Säurekonzentrationen unter 27 % zur Bildung des schwer löslichen $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ kommt. Bei Konzentrationen über 50 % fällt sofort $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot$

H₂O aus, es bildet sich eine Deckschicht, die eine weitere Säureeinwirkung blockiert.

Die Zugabe von 7 % ZnO zur 50 %igen Säure führt nach RETIEF (80) zu einer besseren Benetzbarkeit des Versieglers am Schmelz und zu höheren Haftwerten. KOCHAVI (44) schlägt vor, dem Ätzmittel 2 % NaF oder SnF₂ hinzuzufügen, um eine gleichzeitige Fluor-Anreicherung des Schmelzes zu erreichen.

Die sehr zahlreichen Untersuchungen haben ergeben, daß eine 30- bis 50 %ige reine Phosphorsäure bei einer Ätzeit von 30 Sekunden bis zu einer Minute die besten Resultate ergeben. Der mit Säure behandelte Schmelz zeigt makroskopisch eine opake, kreidig-matte Oberfläche. Unter dem R.E.M. ist ein Ätzmuster zu sehen, das von verschiedenen Autoren beschrieben und untersucht wurde (LUTZ (57), DIEDERICH (22), GWINNETT (31), RETIEF (80), LEE (48), BUONOCORE (14), KOCHAVI (44), WILLIAMS (96), MITCHEM (62)).

Es sind dabei grundsätzlich zwei Ätzeffekte festzustellen:

- ein irreversibler Substanzverlust von 2 bis 15 µm;
- eine poröse Aufrauung der verbliebenen Schmelzoberfläche, bedingt durch eine selektive Löslichkeit der Schmelzprismen. Die Strukturauflockerungen reichen bis zu 50 µm, Strukturveränderungen sogar bis zu 150 µm.

Gemeinsam allen Untersuchungen ist die Feststellung, daß kein einheitliches, spezifisches Ätzmuster auftritt. Es wurden in unmittelbarer Nachbarschaft unterschiedliche Ätzmuster beobachtet, ja sogar Übergänge zu naturbelassenen Arealen. Folgende Ätzmuster wurden beschrieben (GWINNETT (31, 34), MITCHEM (62), DE PAOLA (19, 20),

LEE (18), KOCHAVI (44), DIEDERICH (22)):

- Zentraler Ätztyp mit:
honigwabenähnlicher Struktur und wallartig aufgeworfener Peripherie. Es ist das am häufigsten anzutreffende Ätzmuster.
- Peripherer Ätztyp mit:
Spaltbildungen im Bereich der Prismenperipherie.
- In prismenfreien Abschnitten treten strukturlose Ätztypen auf. Es kommt dabei zu einer Auflockerung des Schmelzes mit porös-granuliertem Aussehen.
- Ein Ätzmuster mit räumlich irregulärem Verlauf ganzer Prismenscharen, wobei einzelne, die anderen Ätztypen überlagernde stern- und farnähnliche Muster auftreten.

Für dieses unterschiedliche Verhalten der Schmelzoberfläche der Säure gegenüber werden mehrere Ursachen angegeben (GWINNETT (31, 34), BUONOCORE (14), LEE (48)):

- lokal unterschiedliche kristallchemische Zusammensetzung des Schmelzes
- unterschiedliche Orientierung der Apatitkristalle und Kristallite innerhalb der Prismen
- Anisotropie der chemischen Reaktion einzelner Kristallite
- unterschiedliche Verteilung der anorganischen und organischen Schmelzbestandteile.

Über das Schicksal der angeätzten Schmelzanteile, die bei der anschließenden Versiegelung nicht bedeckt werden, gibt es unterschiedliche Meinungen. Nach klinischen

- Beobachtungen soll die angeätzte Schmelzoberfläche nach 48 Stunden ein "normales" Aussehen haben.

MÜHLEMANN u. LENZ (64) untersuchten die Reparatur künstlich angekratzter und geätzter Schmelzoberflächen. Sie stellten fest, daß die Remineralisation aus globulären Auflagerungen und dem organischen Schmelzoberhäutchen besteht. Die angeätzte Schmelzoberfläche wird als Folge einer selektiven Adsorption von Speichel-Glykoproteinen mit einem organischen Schmelzoberhäutchen überzogen. Nach zwei Tagen erfolgt dann die Auffüllung der Ätzdefekte mit globulären, knötchenförmigen Präzipitaten, einem feinkörnigen, amorphem Niederschlag mit Apatitkristallen. Mit zunehmender Verweildauer im Munde werden die reparativen Vorgänge durch Abrasionseffekte überlagert, es kommt zu einer Nivellierung.

Die Qualität einer Versiegelung wird durch verschiedene Parameter festgelegt. Als zentraler Parameter wird die Verbundfestigkeit zwischen Schmelz und Adhäsiv, d.h. Haftung, angesehen.

Mit den möglichen Haftmechanismen, die den Verbund Schmelzoberfläche-Adhäsiv herstellen, haben sich mehrere Autoren befaßt (BUONOCORE (9), LEE (48), NEWSELY (68), LUTZ (57), RETIEF (80), GWINNETT (29, 31), WILLIAMS (96)).

Nach LUTZ (58) kommen folgende Haftmechanismen in Frage:

- Mechanische Haftung

- o geometrischer Effekt
- o rheologischer Effekt

- Chemische Adhäsion

- o primär chemische Kräfte:
 - ionische, kovalente, Wasserstoffbrücken-Bindung

o sekundär chemische Kräfte:

VAN DER WAALS oder physikalische Kräfte

Die mechanische Haftung beruht auf geometrischen und rheologischen Effekten. Oberflächenrauheiten und Mikroporen lassen eine Mikroverzahnung zu und machen aufgrund von geometrischen Effekten eine Retention möglich. Der rheologische Effekt entsteht durch die Polymerisationsschrumpfung beim Übergang von der flüssigen zur festen Phase. Die sekundär chemischen Kräfte beruhen auf intermolekularen Anziehungskräften, die erst bei engster Berührung, $< 2 \text{ \AA}$, zwischen Zahnoberfläche und Adhäsiv wirksam werden und reversibel sind. Die primär chemischen Kräfte spielen in praxi kaum eine Rolle.

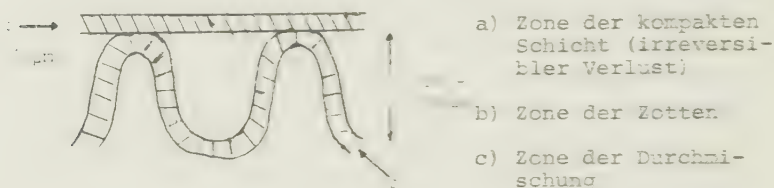
Nach LUTZ (58), GWINNETT (29) und WILLIAMS (96) ist die mechanische Haftung ausschlaggebend für den Verbund Versiegler-Schmelz. Belegt wird diese Aussage durch die Tatsache, daß eine vorherige Konditionierung der Schmelzoberfläche als unbedingt notwendige Maßnahme für eine optimale Versiegelung gilt.

Die sekundär chemischen Anziehungskräfte dürften vor allem bei der Benetzung des Adhärennten durch das Adhäsiv eine Rolle spielen (BUONACORE u. GWINNETT (12)). Günstig wirken sich diesbezüglich niedrig-visköse Versiegler mit kleinem Benetzungswinkel aus.

Nach EICK (25) ist es schwierig, das Wesen der adhäsiven Versiegelung durch theoretische Überlegungen zu klären. Für ihn sind folgende Voraussetzungen wichtig:

- optimaler Kontakt zwischen Adhäsiv-Adhärennt
- minimale Spannungserscheinungen zwischen beiden Materialien
- keine Grenzflächenveränderungen durch exogene Einflüsse.

Entscheidend für die mikromechanische Retention des Adhäsivs ist die Eindringtiefe, Durchmischung und innige Verzahnung mit der angeätzten Schmelzoberfläche. Geeignete Versiegler dringen dabei in die entsprechenden Mikroporen ein und bilden Zotten (tags), der aufgelockerte Schmelz wird vom Adhäsiv durchdrungen. Man kann dabei eine charakteristische Schichtung erkennen (LUTZ (58)).



Die Zottenlänge beträgt nach GWINNETT (30) 25 μm , LUTZ (58) 10 - 30 μm und nach DIEDERICH (22) 7 - 8 bzw. 15 - 20 μm .

Nach WILLIAMS (96) ist das Haftvermögen der Versiegler an der Schmelzoberfläche nur einer unter vielen Faktoren, die die Güte eines Versieglers ausmachen. Als weitere wichtige Parameter geben sie an:

- Härte
- Abnutzungswiderstand
- Wasserabsorption
- Löslichkeit
- Widerstand gegenüber den physikalisch-chemischen Bedingungen des Mundmilieus

Nach HOTZ (37) kann die Güte eines Versieglers mittels klinischer Untersuchungen unter zwei Gesichtspunkten beurteilt werden:

- Haftdauer des Versieglers
- erzielte Kariesreduktion.

Diesbezüglich durchgeführte klinische Untersuchungen zeigen in der Mehrzahl erfreuliche Ergebnisse:

- CUETO u. BUONOCORE (18) fanden bei Methyl-Zyanoakrylaten nach einem Jahr eine Kariesreduktion von 80 %, wobei 70 % der versiegelten Oberflächen noch intakt waren.
- TAKEUCHI (93) erzielte nach einer Versiegelung mit Alkyl-Zyanoakrylat-Methylmethakrylat folgende Resultate:
 - o bei einer halbjährlich durchgeführten Erneuerung eine Kariesreduktion von 100 %
 - o bei einer nach zwei Jahren durchgeführten Erneuerung eine Kariesreduktion von 90 %
- PAPPHOUSE (74) erzielte negative Ergebnisse: Er weist dabei auf die entscheidende Rolle der Haftung und der Dichte des Materials hin.
- FRANK et al. (27) stellte für Epoxylite 9070 (ein Polyurethanlack) eine Haftdauer von nur zwei Monaten fest.
- PAPPHOUSE (84) fand bei einem Kunststoff der BOWEN-Formel nach drei Jahren eine Kariesreduktion von nur 29 %.
- Eine mit demselben Kunststoff, aber UV-polymerisierend durchgeführte Untersuchung von BUONOCORE (13) ergab eine Kariesreduktion von fast 100 %.
- ROCK (83) untersuchte die Haftdauer dieses Kunststoffes. Er stellte fest, daß nach einem Jahr mindestens 50 % der versiegelten Flächen noch intakt waren. In der selben Arbeit weist er darauf hin, daß die Güte einer Versiegelung maßgeblich von der korrekten Durchführung der einzelnen Schritte, die bei einer Versiege-

lung durchgeführt werden, abhängt. Nur geringe Abweichungen in der Verarbeitung haben schon erhebliche Auswirkungen auf die Qualität des Versieglres. Als besonders negativ sind in diesem Sinne geringfügige Kontaminationen der gereinigten Schmelzoberfläche anzusehen.

- In Berlin wurden von LENZ (52), MOHR (63), IHLOW (41) und HEISSE (35) Untersuchungen durchgeführt, in denen die Haftdauer der Versiegler am Schmelz und ein eventueller Kariesbefall unter der versiegelten Oberfläche während einer Laufzeit von 24 Monaten beobachtet wurde. Es wurden auch Zähne mit einer beginnenden Karies, erkennbar durch eine leichte bräunliche Verfärbung, wie auch Zähne mit Füllungen in die Versuche miteinbezogen und versiegelt.

Nach der angegebenen Laufzeit von 24 Monaten ergab sich, daß:

- o an keiner der mit dem Versiegelungsfilm bedeckten Prädilektionsstelle eine Karies zu verzeichnen war;
- o in keinem Fall ein Fortschreiten der Karies zu beobachten war und
- o bei über 80 % der Zähne der Versiegler noch intakt war.

Es wird empfohlen, die Versiegelung alle zwei Jahre zu wiederholen.

3. Kombination: Fluoridierung - Versiegelung

Die Kariesprophylaxe hat heute in der konservierenden Zahnheilkunde einen hohen Stellenwert. Als wichtige kariesprophylaktische Maßnahmen gelten diesbezüglich die Fluoridierung und Versiegelung.

Im Rahmen der kariesprophylaktischen Forschung ergab sich daraus zwangsläufig die Idee, beide Maßnahmen miteinander zu kombinieren. Erste Hinweise in diese Richtung ergaben sich aus folgenden Erkenntnissen:

- Die Fluoridierung der Zahnhartsubstanz führt zu einer erhöhten Kariesresistenz.
- Angeätzter Schmelz nimmt mehr Fluor auf.
- Angeätzter und fluoridierter Schmelz remineralisiert rascher.

Erste klinische und experimentelle Untersuchungen zu diesem Fragenkomplex ergaben jedoch in der Mehrzahl der Fälle, daß eine Fluoridierung von angeätztem Schmelz die Haftfestigkeit der Versiegler beeinträchtigt. Ein Studium der einschlägigen Literatur führt zu folgenden Feststellungen:

- Als Ursache für die schlechtere Haftung wird die Ausbildung einer Deckschicht angegeben. Sowohl die Existenz als auch die Formen dieser Beläge werden sehr unterschiedlich beurteilt.
- In den meisten Fällen wird bei den experimentellen Versuchen die Fluoridierung nach dem Anätzen durchgeführt.
- Es werden meistens nur R.E.M.-Untersuchungen gemacht und anhand der nachgewiesenen Beläge auf eine Beeinträchtigung der Haftung geschlossen.
- Bei Haftversuchen wurden die Ergebnisse mit den R.E.M.-Untersuchungen anderer Autoren begründet. Nur selten wurden vom gleichen Autor sowohl Haftversuche als auch R.E.M.-Untersuchungen durchgeführt.

Im einzelnen wurden folgende Beobachtungen gemacht (es werden die Resultate der am meisten zitierten Autoren angeführt):

R.E.M.-Untersuchungen

Es werden die Auswirkungen einer Fluoridierung auf angeätztem Schmelz untersucht.

GWINNETT/BUONOCORE/SHEYKHOLESAM (32)

Bei ihren Untersuchungen verwenden sie sowohl menschliche als auch Rinderzähne. Die Zähne wurden mit 50 %iger H_3PO_4 angeätzt und anschließend fünf Minuten mit unterschiedlichen Fluoridierungsmitteln behandelt.

Außer bei SnF_2 wurde bei allen anderen Fluoridierungsmitteln eine Belagsbildung unterschiedlicher Form, Konsistenz und Haftung beobachtet (TiF_4 ; ZrF_4 ; NaF 2 %; Na_2PO_4F 2 %).

Gestützt auf diese Befunde folgern sie, daß die nachgewiesenen Beläge eine Beeinträchtigung des Haftvermögens der Versiegler hervorrufen.

SnF_2 soll chemische Änderungen an der Schmelzoberfläche verursachen und ebenfalls zu einer schlechteren Haftung führen. Die zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführten Haftversuche bestätigen diese Annahmen.

CHOW/BROWN (16)

Sie verwenden bei ihren Untersuchungen vier Proben, die alle von einem menschlichen Prämolaren stammten. Die vier Proben wurden eine Minute mit 50 %iger H_3PO_4 geätzt, drei Proben wurden anschließend mit einem basischen Fluoridierungsmittel unterschiedlicher Fluoridionenkonzentration behandelt.

Die R.E.M.-Untersuchung ergab eine saubere Oberfläche mit einem klaren Ätzmuster. Einzelne kleine, runde Partikel, die als CaF_2 gedeutet wurden, waren bei der Probe, die mit dem Fluoridierungsmittel höchster Fluoridionenkonzentration behandelt wurde, zu beobachten. Fluorkonzentrationsmessungen in fünf sukzessiven Schichten ergaben

eine signifikante Fluor-Anreicherung von 2.000 ppm in der obersten Schicht und 540 ppm in der tiefsten Schicht bei den fluoridierten Proben. Die nichtfluoridierte Probe ergab 510 ppm bzw. 303 ppm.

WEI/STEPHEN (95)

Verwenden Proben, die aus menschlichen Zähnen hergestellt wurden. Die Proben wurden eine Minute mit 50 %igem H_3PO_4 geätzt, danach vier Minuten fluoridiert, und zwar mit saurem PO_4F_3 , SnF_2 und NH_4F . Die R.E.M.-Untersuchung ergab bei allen Proben eine Belagsbildung unterschiedlicher Form und Konsistenz, die ihrer Meinung nach eine Versiegelung negativ beeinflussen muß.

KOCHAVI (44)

untersucht bei seinen R.E.M.-Studien:

- die Auswirkung einer Fluoridierung vor und nach einer Schmelzkonditionierung,
- die Möglichkeit einer Kombination Säure + Fluoridierungsmittel als Conditioner.

Er kommt dabei zu folgenden Resultaten:

- eine Fluoridierung mit anschließendem Ätzvorgang:
 - o reduziertes Ätzmuster
 - o einzelne Reaktionsprodukte
 - o erhöhte Fluorkonzentrationen im Schmelz
- eine Fluoridierung nach dem Anätzen:
 - o amorphe Beläge, die die durch den Ätzvorgang entstandenen Porositäten auffüllen und bedecken. Bei SnF_2 mehr als bei NaF.
- Kombination Säure + Fluoridierungsmittel (2 % NaF)
 - o klares Ätzmuster
 - o keine Beläge
 - o erhöhte Fluorkonzentrationen im Schmelz.

KOCHAVI wird von einigen Autoren bei der Interpretation ihrer Ergebnisse zitiert (WRIGHT (98), LOW (54)).

VAHL u. REINHARDT (79)

konnten in ihren Untersuchungen nachweisen, daß eine Fluoridierung geätzter Schmelzoberflächen zu keiner morphologisch sichtbaren Belagsbildung führt. Eine sichtbare Belagsbildung führen sie auf eine unzureichende Spülung bzw. dem Eintrocknen der Fluoridlösung auf dem Zahnschmelz zurück.

Sie unterteilen die Fluoridlösungen in:

- starke Elektrolyte: NaF , NH_4F und
- schwache Elektrolyte: SnF_2 , $\text{Na}_2\text{PO}_4\text{F}$

ein und machten dabei folgende Beobachtungen unter dem R.E.M.:

- bei den schwachen Elektrolyten
 - o saubere Oberfläche, gut sichtbares Ätzmuster; keine Beeinträchtigung des Oberflächenreliefs;
 - o Randwinkelmessungen des auf den Schmelz applizierten Versieglers ergaben keine Unterschiede zu den nicht fluoridierten Proben;
 - o Zottenlängen bis $150\text{ }\mu\text{m}$;
 - o eine erhöhte Fluorkonzentration in den oberen Schmelzschichten gegenüber den nicht fluoridierten Proben und eine niedrigere Fluorkonzentration im Vergleich zu den mit starken Elektrolyten behandelten Proben.
- bei den starken Elektrolyten
 - o eine saubere Oberfläche, gut sichtbares Ätzmuster; keine Beeinträchtigung des Oberflächenreliefs;
 - o dieselben Randwinkelmessungen ergaben hier doppelt so große Werte; die reduzierte Benetzbarkeit wird mit

der Ausbildung einer sehr dünnen CaF_2 -Schicht erklärt, die im R.E.M. nicht sichtbar ist;

- o Zottenlängen bis zu 30 μm ;
- o eine stark erhöhte Fluorkonzentration in den oberen Schmelzschichten.

Nach VAHL u. REINHARDT ist eine negative Beeinflussung der Versiegelung durch eine Fluoridierung nur bei den Fluoridierungsmitteln - Natriumfluorid (NaF) und Ammoniumfluorid (NH_4F) zu erwarten.

Laboruntersuchungen - Haftversuche

Es wird die Auswirkung einer Fluoridierung angeätzter Schmelzoberflächen auf die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz untersucht:

- GWINNETT, BUONOCORE u. SHEYKHOLESHAM (33) benutzten bei ihren Versuchen: Rinderzähne, deren labiale Flächen mit Sandpapier der Korngrößen 180 - 320 - 600 beschliffen wurden; 4 Fluoridierungsmittel: saures NaF , SnF_2 , TiF_4 und ZrF_4 ; den Kunststoff Sevriton.

Die Haftversuche ergaben bei allen fluoridierten Proben ein signifikant kleineres Haftvermögen als bei den Kontrollproben, die nicht fluoridiert waren. Als Ursache werden die durch die Fluoridierung hervorgerufenen Beläge angegeben.

- LEE (48) untersucht die Auswirkungen einer sowohl vor als auch nach dem Anätzen durchgeführten Fluoridierung auf die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz menschlicher und tierischer (Rinder-) Zähne. Er konnte dabei folgende Feststellungen machen:

- o Eine Fluoridierung der Zähne reduziert die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz, wobei eine

Fluoridierung vor dem Anätzen sich ungünstiger auswirkt als eine Fluoridierung nach dem Anätzen.

Er empfiehlt eine Fluoridierung nach dem Anätzen.

- WRIGHT (98) verwendete bei seinen Untersuchungen zwei Fluoridierungsmittel und Nuva Seal als Versiegler. Dabei erzielte er folgende Resultate (Haftwerte in kg/cm^2):

	ohne F	SnF_2	Na_2FPO_4
Nuva Seal	81,8	87,1	37,4

und stellt dabei Folgendes fest:

- o Der kritische Haftwert für Versiegler ist bisher noch nicht definiert worden.
- o Die Faktoren, die zu unterschiedlichen Haftwerten führen, sind noch nicht endgültig geklärt. Eine mögliche Erklärung sieht er in den von KOCHAVI (44) angeführten Belägen.
- HOTZ (38) benutzt in seinen Versuchen mit Diamantfräsern beschliffene menschliche Zähne, die mit 37 %iger H_3PO_4 geätzt wurden. Anschließend wurde:
 - o ein Teil der Proben mit Kunststoff beschickt;
 - o ein anderer Teil der Proben mit unterschiedlichen Fluoridierungsmitteln behandelt und anschließend mit Kunststoff beschickt.

Die so vorbereiteten Proben wurden in Abrißversuchen auf ihre Haftfestigkeit geprüft. Nachher wurden dieselben Proben abermals beschliffen, wobei eine Schichtdicke von etwa 20 bis 50 μm entfernt wurde und erneut wie schon beschrieben vorbereitet und geprüft. Er kam dabei zu folgenden Ergebnissen:

- o große Streuung der Haftwerte;
 - o eine Fluoridierung keinen oder einen sehr unbedeutenden Einfluß sowohl im positiven wie auch im negativen Sinne auf die Haftfähigkeit der Versiegler hat;
 - o eine bessere Haftung der Versiegler in den tieferen Schmelzschichten zu verzeichnen ist;
 - o eine Analyse der Bruchflächen ergab Abrisse an der Klebefläche mit eventuellen Schmelzausrissen, im Material, zum Teil im Material, zum Teil an der Klebefläche.
- LOW (54) untersucht den Einfluß einer sowohl v o r als auch n a c h dem Anätzen durchgeführten Fluoridierung auf die Haftfähigkeit der Versiegler am Schmelz. Bei seinen Versuchen werden mehrere Fluoridierungsmittel und Versiegler geprüft. Er kommt dabei zu folgenden Feststellungen:
- o eine Fluoridierung mit 8 %iger SnF_2 und die anschließende Versiegelung mit Nuva Seal führen zu einer erhöhten Haftfestigkeit im Vergleich zur Kontrollprobe, die nicht fluoridiert wurde, von $36,6 \text{ kg/cm}^2$ zu 55 kg/cm^2 ;
 - o bei allen anderen Proben wurde eine Reduzierung der Haftfestigkeit festgestellt, wobei eine Fluoridierung v o r dem Anätzen im Vergleich zu einer Fluoridierung n a c h dem Anätzen sich viel ungünstiger auswirkt;
 - o der kritische Haftwert bisher nicht bekannt ist;
 - o eine Beimischung von Fluor zum Ätzmittel sich ungünstig auf die Haftfestigkeit auswirkt.
- LOW empfiehlt bei Nuva Seal eine Fluoridierung mit 8 % SnF_2 nach dem Anätzen.

- LOW (55) wiederholt die schon früher gemachten Versuche und kommt zu den gleichen Ergebnissen. Die positiven Ergebnisse mit SnF_2 als Fluoridierungsmittel und Nuva Seal als Versiegler werden bestätigt. Als Ursache für die negativen Ergebnisse mit den anderen Versiegler (Espe 71370, Alpha Seal, Epoxylite 9075) und Fluoridierungsmitteln (saures $\text{Na}_2\text{F PO}_4$, saures NaF) werden die von KOCHAVI (44) gemachten Beobachtungen über die Bildung von Belägen verantwortlich gemacht.

Nach LOW führt die Kombination Nuva Seal als Versiegler und 80 %igem SnF_2 als Fluoridierungsmittel zu einer erhöhten Haftfähigkeit des Versieglers. Bei einem eventuellen Verlust des Versieglers sei außerdem eine erhöhte Kariesresistenz gegeben, bedingt durch die erhöhte Fluorkonzentration im Schmelz.

4. Eignung von Rinderzähnen zur Prüfung der Haftfestigkeit von zahnärztlichen Werkstoffen

Die Versuche über die Haftfestigkeit von Kunststoffen an Zähnen wurden überwiegend an Rinderzähnen durchgeführt:

- GWINNETT u. BUONOCORE (37)
- LEE (48)
- BRAUER u. TERMINI (7)
- PHILLIPS (92)
- TAKEUCHI u. OTSUKI (72)
- KESSLER (42)
- VIOHL (45)
- DIEDERICH (22).

Zähne von frisch geschlachteten Rindern lassen sich zum einen in ausreichender Menge beschaffen, zum andern ergeben die doch recht großen Zähne ebene Flächen, die sich gut zu Versuchszwecken eignen.

Da Ungleichmäßigkeiten der Schmelzoberfläche wie Rillen, Dellen und Schmelzsprünge den so wichtigen senkrechten Abzug verhindern können, werden die Proben, bei allen bisher genannten Autoren, an planbeschliffenen Zahnflächen befestigt. Nur NOLDEN (70) polymerisiert die Kunststoffe an Zähne, die nicht beschliffen wurden.

PANTKE et al. (73) und LENZ (53) konnten in histologischen und mikromorphologischen Untersuchungen nachweisen, daß die Zähne der Rinder denen der Menschen im Schmelz und Dentinaufbau sehr ähneln. Die bei den Rinderzähnen gefundenen Haftwerte können daher mit großer Sicherheit auch für menschliche Zähne angenommen werden.

5. Haftversuche

In den zahlreich durchgeführten Versuchen zur Ermittlung der Haftfestigkeit von Kunststoffen am Schmelz wurden verschiedene Einrichtungen beschrieben. BOWEN (5, 6), LEE (48), LASWELL (47), SWARTS u. PHILLIPS (92), LOW (56) benutzen miteinander verschraubte oder ineinander gesteckte Metallzylinder.

EDEN (24) konstruierte eine Maschine mit justierbaren Seitenteilen. Die Zähne wurden dabei in Gips eingebettet.

OTSUKI u. TAKEUCHI (72) lassen die Zähne in einem Aluminiumring von Hartgips umfließen.

PRODGER u. SYMONDS (78) benutzen zum Ausschalten von Scherkräften beim Abzug eine an der Probe befestigte Kette.

LENZ u. VIOHL (50) polymerisieren in einem Messingring einen gebogenen Nagel ein, an dem die Prüfmaschine angreift.

KESSLER (42) und STÜSSEL (91) kleben einen Stahl bzw. ei-

nen Plexiglasstift direkt und möglichst senkrecht am Zahn fest.

KOPS (46) benutzt einen Messingring, der auf den Zahn appliziert wird. In diesem Ring wird der Kunststoff eingefüllt und vor dem Erhärten eine Schraube herabgesenkt.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1. Vorversuche

In den Vorversuchen soll

- ein rationeller Versuchsaufbau
- die Art und Weise der zu behandelnden Oberflächen
- die geeignete Probenherstellung und
- die zu erwartenden Haftkräfte

für Haftfestigkeitsprüfungen am Schmelz gefunden und ermittelt werden, um die in dieser Arbeit gestellten Ziele zu erreichen. Es wird dabei versucht, den unter klinischen Bedingungen vorliegenden Verhältnissen gerecht zu werden.

1. Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Es werden von den sechs unteren Schneidezähnen die vier mittleren Incisivi frisch geschlachteten Jungtiere, deren Zahnwechsel gerade stattgefunden hat, verwendet. Von den extrahierten Zähnen wird die Zahnwurzel unterhalb der Krone abgetrennt, die Pulpa wird entfernt. Bis zur weiteren Verwendung lagern die Zahnkronen in einer Alkoholglycerinlösung (60 Teile 96 % Alkohol, 15 Teile Glycerin, 25 Teile destilliertes Wasser). Anschließend werden die Labialflächen der Zähne bis auf einige wenige, deren natürliche Schmelzoberfläche unter dem R.E.M. untersucht wird, an der Schleifmaschine mit Sandpapier der Körnung 200 - 340 - 600 - 1.000 beschliffen. Die so behandelte Oberfläche zeigt einen leichten Glanz. Beim Beschleifen darf die Schmelzschicht nicht durchbrochen werden. Ist dies der Fall, so werden diese Zähne aussortiert.

Die angeschliffene Oberfläche muß etwas größer als der Durchmesser der Probenform (7 mm) sein, damit der Zahn in

Halterahmen (siehe Abb. 3, 4 u. 5) auf dessen Fläche aufliegt und ein senkrechter Abzug garantiert wird. Die angeschliffenen Zähne lagern anschließend in der Alkohol-Glycerin-Lösung.

Es werden folgende Oberflächenbehandlungen durchgeführt (in Klammern die im weiteren Verlauf der Erläuterungen benutzten Abkürzungen):

Natürliche Schmelzoberfläche (NO)

Die Untersuchung der natürlichen, unbeschliffenen Schmelzoberflächen werden unter dem R.E.M. durchgeführt, um das Oberflächenrelief des Schmelzes von Rinderzähnen zu untersuchen.

Reinigung der Schmelzoberfläche (Z)

wie sie vor einer Fluoridierung und Versiegelung verlangt wird. Es wird während einer Minute mit Bürstchen und Zircate-Paste bei kleiner Tourenzahl (Einstellung 3) die Zahnoberfläche gereinigt. Anschließend während 40 Sekunden mit Luft und Wasser gewaschen und dann getrocknet. Die Bearbeitung erfolgt an einer zahnärztlichen Einheit.

Speichellagerung (Sp)

Die Zähne werden während einer Stunde in frischem, menschlichen Speichel gelagert.

Beschliffene Oberfläche (BeO)

wie schon beschrieben.

Fluoridierung (F)

an einer zahnärztlichen Einheit. Es wird vier Minuten fluoridiert, während der ersten Minute wird das Fluoridierungsmittel auf der Zahnoberfläche mit einem Wattestäbchen unter ständigem Rühren bewegt. Danach zwei Minuten an der Luft getrocknet und anschließend 60 Sekunden mit Wasser und

Luft abgewaschen und dann getrocknet. Bei den Fluoridierungsmitteln Duraphat und Fluor Protector wurde nicht gewaschen. Hier wurde nach 24 Stunden der entstandene Film entfernt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß eine Entfernung dieser Fluoridierungsmittel nach zwei Minuten nicht möglich ist. Es kommt zur Bildung eines zähen, lackartigen Belages. Auch wurde hier während der ersten Minute der Fluoridierung nicht gerührt.

Ätzen (A)

an einer zahnärztlichen Einheit. Es wurden jeweils die vom Hersteller gestellten Ätzmittel benutzt. Es wird eine Minute lang geätzt, wobei die der Zahnoberfläche als Film aufliegende Säure mit einem Wattestäbchen unter ständigem Rühren bewegt wird; eine Minute lang mit Wasser und Luft gereinigt und dann getrocknet.

Versiegeln (V) (nach den Angaben der Hersteller)

- Bei den chemisch polymerisierenden Kunststoffen:
Es wurden Voruntersuchungen gemacht, um festzustellen, ob ein Vorgehen in zwei Schritten, d.h. in zwei Schichten, notwendig ist. Die Untersuchungen ergaben keine Unterschiede, so daß in den Hauptversuchen diese Kunststoffe in einem Arbeitsgang auf die Zahnoberfläche aufgetragen werden.
- Bei den UV- und lichtempfindlichen Kunststoffen:
Die Schwierigkeit bei der Probenherstellung von photopolymerisierenden Kunststoffen liegt darin, daß nicht die gesamte Probe in einer Höhe von bis zu 5 mm in einem Arbeitsgang polymerisiert werden kann. Ein schichtweises Auftragen des Versieglers ist notwendig. SANDOCK-LADWIG (86) und VIOHL (94) beschreiben nach Bestrahlung mit dem Bandelin UV-Gerät bei Bestrahlungszeiten von 5 bis 60 Sekunden eine Polymerisationstiefe von 1 bis 5 mm. Dabei muß darauf geachtet werden,

daß alle Probereiche gleichmäßig von der Bestrahlung erreicht werden und nicht abgeschattet liegen. Da die zu prüfenden Versiegler in ihren Polymerisationsystemen unterschiedlich empfindlich sind, andererseits die Strahlendurchlässigkeit von der Transparenz und Farbe abhängt und auch der Schattenwurf bei eingesetzter Schraube ausgeschaltet werden muß, wurde nach einigen Vorversuchen folgendes Vorgehen gewählt:

- o Die erste dünne Schicht ($\approx 0,5$ mm) wird:
 - * 40 Sekunden für UV-polymerisierende Kunststoffe und
 - * 20 Sekunden für lichtpolymerisierende Kunststoffe belichtet. Die Austrittsöffnung des Lichtleiters entspricht dem Ringdurchmesser und wird direkt auf die obere Kante des Ringes aufgesetzt.
- o Die zweite und dritte Schicht von jeweils 1,5 bis 2 mm wird von drei Stellen aus jeweils 40 Sekunden bzw. 20 Sekunden belichtet. Der Lichtleiter wird dabei schräg gehalten und in 4, 8 und 12 Uhr-Stellung ange-
setzt. Für die UV-empfindlichen Versiegler wird das Bandelin UV-Dent-Gerät benutzt, für die lichtempfindlichen Versiegler das von der Fa. Kulzer hergestellte Gerät Translux.

Auf die Kombination und Reihenfolge der einzelnen Bearbeitungsschritte sowie deren zeitliche Folge wird bei der Besprechung der Hauptversuche eingegangen.

2. Ermittlung der geeigneten Probenherstellung

Es soll in Vorversuchen eine geeignete Methode gefunden werden, die einfach zu handhaben ist und für jede Probe die gleichen Bedingungen schafft. Besonders wichtig ist, eine geeignete Versuchsanordnung zu finden, die ein senkrecht Einwirken der Abzugskräfte gestattet, da es sonst

zu einem Abscheren der Materialprobe von der Zahnoberfläche kommt.

In ersten Versuchen wird in Anlehnung an die von KESSLER (42) und STÜSSEL (91) durchgeführten Versuche ein Stahlstift benutzt. Die Stirnfläche dieses Stiftes wird zwecks Oberflächenvergrößerung mit Sandpapier und Säure behandelt, anschließend mit Alkohol gesäubert und getrocknet. Danach wird die zu verklebende Stiftfläche mit Kunststoff bestrichen und etwa 30 Sekunden mit Fingerdruck auf die gereinigte und getrocknete Schmelzoberfläche angeedrückt.

Die dabei erreichten Haftkräfte waren sehr klein. Die Haftfläche war nicht eindeutig zu bestimmen, da seitlich immer Material herausquillt. Diese ersten Versuche waren nicht zufriedenstellend, und es wird ein neuer Versuchsaufbau mit den von KOPS (46) benutzten Messingringen und Schrauben gemacht.

Um ein genau senkrechtes Einpolymerisieren der Schraube sicherzustellen, wird ein Bohrer benutzt, der in einen Bohrständer eingespannt wird und hier in der Vertikalen frei beweglich ist. In das Bohrfutter des Bohrers wird ein Metallzylinder mit Stift befestigt. Er dient als Paralleldrücker, um die Zahnoberfläche parallel zum Tisch des Bohrständers auszurichten. Dazu wird der Zahn in Plastiline gedrückt, darauf einen Aluminiumring gestellt. Der Bohrer mit dem Metallzylinder wird herabgeführt und leicht angedrückt.

Dieser Vorgang wird sooft wiederholt, bis der Aluminiumring überall flächig dem Metallzylinder anliegt (siehe Abb. 1). Der Aluminiumring wird benutzt, um eine Verunreinigung der Zahnoberfläche während des beschriebenen Vorganges zu verhindern. Dazu muß sein Durchmesser größer

als der des Messingringes sein.

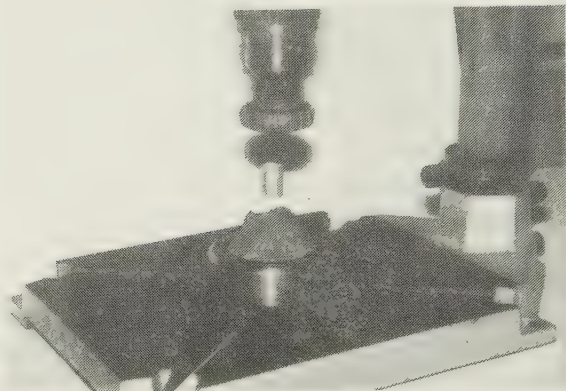


Abb. 1: Parallelisierung der beschliffenen Zahnoberfläche mit dem Tisch des Bohrständers

Anschließend wird der Metallzylinder aus dem Bohrfutter entfernt und mit einer Schraube ersetzt, die in den Versiegler herabgesenkt werden soll. Zuerst wird aber die genaue Entfernung Zahnoberfläche - Schraubenkopf festgelegt und fixiert. Dies geschieht, indem die vertikale Bewegungsfreiheit der Schraube nach unten durch einen Ring an der Achse des Bohrständers begrenzt wird. Danach wird ein Messingring auf die Zahnoberfläche gestellt, der Versiegler angemischt und in den Ring eingeführt; der Schraubenkopf wird bis zum Anschlag herabgesenkt. Vor dem Absenken wird die Stirnseite des Schraubenkopfes reichlich mit Versieglermaterial benetzt (siehe Abb. 2).

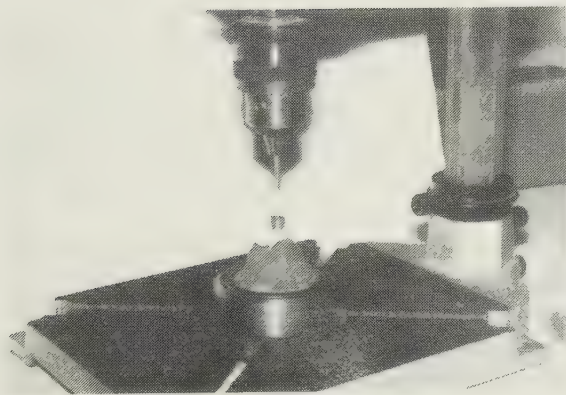


Abb. 2: Zahn mit aufgesetztem Messingring. Die Schraube wird in die Probe herabgesenkt.

Um beim Einführen des Versieglers in den Ring ein Abheben des Ringes zu verhindern, wird dieser mit einer Pinzette festgehalten. Kommt es trotzdem zu einem Austreten von Versieglermaterial zwischen Zahn und Ring, wird dieser Überschuß mit einem Skalpell entfernt.

Es wird das Abbinden des Versieglers abgewartet. Als Kriterium für den abgebundenen Zustand des Versieglers galt das Unvermögen, dessen Oberfläche mit einer Sonde einzudrücken. Es ergab sich im Durchschnitt eine Polymerisationszeit von 5 Minuten.

Zur Ermittlung der geeigneten Schraubenkopfgröße und des optimalen Abstandes Schraubenkopf - Zahnoberfläche wurden vier Untersuchungsreihen durchgeführt. Es konnte dabei Folgendes festgestellt werden:

- Der Schraubenkopf soll so nahe wie möglich an der Zahnoberfläche liegen. Liegt der Schraubenkopf zu weit vom Zahn entfernt, kommt es bei korrekt durchgeführter Bearbeitung der Zahnoberfläche und Verarbeitung des Versieglers zu Abrissen im Kunststoff, da die Zugkräfte hauptsächlich im Kunststoff angreifen. Wird jedoch der Schraubenkopf, wie angegeben, tiefer herabgesenkt, verteilen sich die Zugkräfte in etwa gleichmäßig auf den Kunststoff und die Klebefläche.
- Der Durchmesser des Schraubenkopfes soll so gewählt werden, damit ein optimaler Kompromiß zwischen der mechanischen Verankerung des Schraubenkopfes im Kunststoff einerseits und den zirkulären Zwischenraum zwischen Schraubenkopf und Ring andererseits erreicht wird. Die mechanische Verankerung im Kunststoff ist besser, je größer der Durchmesser des Schraubenkopfes ist. Andererseits soll der Zwischenraum zwischen Schraubenkopf und Ring je größer sein, da dieser eine Schwachstelle ist. Bei Abrissen im Kunststoff ist die Bruchstelle meistens an dieser Stelle zu verzeichnen.
- Die Untersuchungen ergaben die besten Resultate bei einem Schraubenkopfdurchmesser von etwa 4 mm.

3. Ermittlung der geeigneten Abzugsvorrichtung

Zur Prüfung der Haftfestigkeit werden Zerreißversuche mit einer Universalprüfmaschine (Fa. Instron - Typ: TTBM) durchgeführt. Als Halterahmen zum Einsetzen der Proben in die Prüfmaschine dient der von KESSLER (42) angegebene Hufeisenbügel. Die Bohrung von 9 mm in der Bodenplatte erlaubt das Einsetzen des Ringes, in dem sich die Probe befindet. An dem oben im Bügel angebrachten

greifen die oberen Klemmbacken des Prüfgerätes an.

Um ein senkrechtes Abziehen der Probe zu gewährleisten, wird an das Gewinde der Schraube ein Stahlring angeschraubt. In diesem Stahlring befinden sich zwei gegenüber einander drehbare Bolzenschlösser. Daran wird eine Kette befestigt, an deren Ende die unteren Klemmbacken der Prüfmaschine (KOPS (46)) (siehe Abb. 3, 4) angreifen.



Abb. 3: Ansicht der Prüfmaschine mit eingespannter Probe.

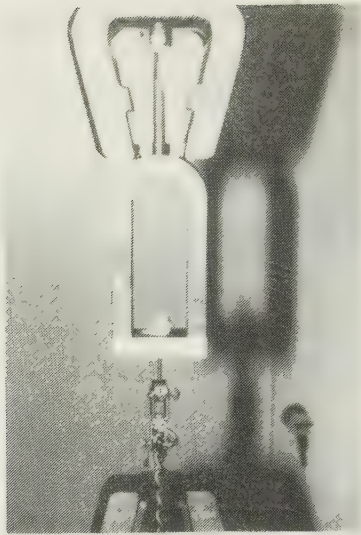


Abb. 4: Hufeisenbügel mit Probe. Die oberen Klemmbacken greifen an den im Bild sichtbaren Stift an, die unteren Klemmbacken an der Kette.



Abb. 5: Bodenplatte des Hufeisenbügels mit aufgelegter Probe. Unten ist der Stahlring mit der daran befestigten Kette sichtbar.

4. Ermittlung der auftretenden Kräfte bei endgültigem Versuchsaufbau

Es werden Vorversuche durchgeführt, um:

- die Größenordnung der Abrißkräfte,
- die geeignete Meßdose,
- die geeignete Traversen und Papiergeschwindigkeit

zu ermitteln. Dazu werden die Proben wie beschrieben vorbereitet und in der Prüfmaschine abgerissen. In Anlehnung an die Versuchsergebnisse anderer Autoren wird die Meßdose bei 100 kp eingestellt. Es wurden Haftkräfte zwischen 0,18 bis 1,1 Kp/mm², das entspricht 1,8 bis 11 N/mm², gemessen. Die Haftfläche am Schmelz läßt sich aus dem Ringdurchmesser von 6,8 mm nach der Formel für die Kreisfläche berechnen:

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$r = 3,4 \text{ mm}$$

$$A = 3,14 \times 11,56$$

$$A = 36,3 \text{ mm}^2 .$$

=====

Alle gemessenen Kräfte K beziehen sich auf diese Fläche. Für die Haftfestigkeit F gilt dann in kp/mm²:

$$F = K/A \text{ in kp/mm}^2 .$$

Da 1 kp = 9,81 N ist, gilt für die Haftfestigkeit:

$$F = K \cdot 9,81/A .$$

An der Prüfmaschine werden die Haftkräfte in kp abgelesen; als Umrechnungsfaktor in N/mm² gilt:

$$F = K \times \frac{9,81}{36,3}$$

$$F = K \times 0,27$$

Der Umrechnungsfaktor in N/mm² ist 0,27.

5. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Nach der letzten Bearbeitung und Reinigung der Zahnoberfläche werden die Proben für etwa 24 Stunden getrocknet, danach werden sie auf Objektträger mit Leitsilber (Fa. Degussa) befestigt. Auf dem Ionensputteringgerät (Typ: Hummer, Fa. Technics) wurden die Präparate vier Minuten lang bei 1.000 V, 10 mA und 150 m-Torr-Vakuum mit Gold bedampft.

Die Untersuchung der Präparate wurde mit dem Rasterelektronenmikroskop Stereoscan 150 MK-2 durchgeführt. Zur Dokumentation wurden photographische Aufnahmen hergestellt.

3.2. Hauptversuche

3.2.1. Haftversuche

1. Untersuchte Materialien

Eine Zusammenstellung der untersuchten Versiegler und Fluoridierungsmittel zeigen die Tabellen 1 und 2. In der ersten Spalte jeweils die im weiteren Verlauf der Erläuterungen benutzten Abkürzungen für Versiegler und Fluoridierungsmittel.

Sieben Versiegler, drei selbsthärtende und vier photopolymerisierende und fünf Fluoridierungsmittel werden untersucht. Die Versiegler sind Kunststoffe aus Bis-GMA nach der BOWEN-Formel. Es sind Kunststoffe, die sich durch eine große Mundbeständigkeit auszeichnen. Andererseits muß darauf geachtet werden, daß während der Polymerisation keine Feuchtigkeit hinzutritt, da diese den

Abkür- zung	Hersteller	Versiegler	Polymerisa- tionsart	Ätzmittel
V ₁	Johnson & Johnson	Delton	chemisch	NI 08520 35 % H ₃ PO ₄
V ₂	Caulk/ De Trey	Nuva Seal P.A.	UV	50 %ige H ₃ PO ₄
V ₃	Kulzer	Estiseal S.C.	chemisch	Esticid 35 % H ₃ PO ₄
V ₄	Kulzer	Durafill bond	Licht und UV	Esticid 35 % H ₃ PO ₄
V ₅	Vivadent	Contact- Seal	chemisch	Email Präparator
V ₆	Litema	Plura-Seal	Licht	Ätz-Gel
V ₇	Kulzer	Estiseal L.C.	Licht	Esticid 35 % H ₃ PO ₄

Tab. 1: Untersuchte Versiegler mit Angabe der Polymerisationsart und der angewandten Ätzmittel.

Polymerisationsvorgang empfindlich stören kann. Ferner muß darauf geachtet werden, daß die zu versiegelnde Schmelzoberfläche trocken ist. Die Verarbeitung der Versiegler und Fluoridierungsmittel erfolgt nach den Anweisungen der jeweiligen Hersteller.

Abkür- zung	Hersteller	Fluoridierungs- mittel	chemische Zusammensetzung
F ₁	Elmex Forschung Wybert GmbH	Elmex, Gelee	Aminfluorid + NaF
F ₂	Elmex Forschung Wybert GmbH	Elmex fluid	Aminfluorid
F ₃	Fa. Woelm	Duraphat	NaF + Naturharz
F ₄	Vivadent	Fluor Protector	Polyurethanlack + Fluorsilanver- bindung
F ₅	Blendax	Fluor-Gel	NaF $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Tab. 2: Untersuchte Fluoridierungsmittel mit Angabe der chemischen Zusammensetzung.

2. Untersuchungsreihen

Insgesamt werden in vier Versuchsreihen mit elf Versuchsserien 260 Proben hergetestellt. Zu jedem Versuch werden jeweils fünf Proben hergestellt ($n = 5$). Die vorbehandelten Rinderzahnkronen werden dem Wasser entnommen, getrocknet und mit dem Paralleldrücker zur Bohrständerrplatte parallelisiert. Die Schraube wird - wie schon beschrieben - eingespannt und eingestellt.

Nach dem Einfüllen des Versieglers in den Messingring wird die Schraube herabgesenkt und das Ende der Polymerisation abgewartet, was erfahrungsgemäß vier bis fünf Minuten dauert. Danach werden die Proben für 24 Stunden bzw. sechs Wochen ins Wasser gelegt. Nach Ablauf der vor-

gesehenen Lagerzeit werden die Zähne mit einem Handluftbläser getrocknet. Die Probe wird in die Abzugsvorrichtung eingespannt und abgerissen.

Als Meßbereich werden normalerweise 0 bis 50 kp gewählt. Wird während des Abzuges deutlich, daß dieser Bereich überschritten wird, so wird auf 0 bis 100 kp umgeschaltet. Der beim Abriß ermittelte kp-Wert wird am Schreiber abgelesen, notiert und in N/mm^2 umgerechnet. Nach dem Abzug werden Zahn- und Probenoberfläche betrachtet. Es werden notiert:

- Abrißort an der Klebefläche, im Material, zum Teil im Material, zum Teil an der Klebefläche;
- Feuchtigkeit der Schmelzoberfläche, wenn der Abriß direkt am Schmelz erfolgte. Durch das Trocknen des Zahnes vor dem Abzug wird ausgeschlossen, daß die Feuchtigkeit an der Schmelzoberfläche ein Artefakt ist und durch Kapillarwirkung erst beim Abzug unter die Probe gelangt ist.

1. Versuchsreihe

Hier werden die sieben Versiegler mit den fünf Fluoridierungsmittel kombiniert, um den Einfluß der einzelnen Fluoridierungsmittel auf die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz zu untersuchen. Es werden folgende Oberflächenbearbeitungen durchgeführt:

$\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{F} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{V}$

Nach dem Beschleifen (Beo), Speichellagerung (Sp) und dem Reinigen (Z) werden die Zähne fluoridiert (F). Danach für 24 Stunden ins Wasser gelegt, erneut gereinigt, dann geätzt (Ä) und versiegelt (V) und für 24 Stunden ins Wasser gelegt. Nach intensivem Trocknen werden die Proben abgerissen.

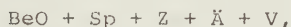
Es werden fünf Versuchsserien durchgeführt:

Versuchsserie	Proben mit Angabe der durchgeführten Oberflächen- bearbeitungen und der benutzten Versiegler und Fluoridierungsmittel
1	BeO + Sp + Z + F1 + Z + Ä + V1
	BeO + Sp + Z + F1 + Z + Ä + V2
	BeO + Sp + Z + F1 + Z + Ä + V3
	BeO + Sp + Z + F1 + Z + Ä + V4
	BeO + Sp + Z + F1 + Z + Ä + V5
	BeO + Sp + Z + F1 + Z + Ä + V6
	BeO + Sp + Z + F1 + Z + Ä + V7
2	BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V1
	BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V2
	BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V3
	BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V4
	BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V5
	BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V6
	BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V7
3	BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V1
	BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V2
	BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V3
	BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V4
	BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V5
	BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V6
	BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V7
4	BeO + Sp + Z + F4 + Z + Ä + V1
	BeO + Sp + Z + F4 + Z + Ä + V2
	BeO + Sp + Z + F4 + Z + Ä + V3
	BeO + Sp + Z + F4 + Z + Ä + V4
	BeO + Sp + Z + F4 + Z + Ä + V5
	BeO + Sp + Z + F4 + Z + Ä + V6
	BeO + Sp + Z + F4 + Z + Ä + V7
5	BeO + Sp + Z + F5 + Z + Ä + V1
	BeO + Sp + Z + F5 + Z + Ä + V2
	BeO + Sp + Z + F5 + Z + Ä + V3
	BeO + Sp + Z + F5 + Z + Ä + V4
	BeO + Sp + Z + F5 + Z + Ä + V5
	BeO + Sp + Z + F5 + Z + Ä + V6
	BeO + Sp + Z + F5 + Z + Ä + V7

Tab. 3: Proben der ersten Versuchsreihe mit Angabe der Oberflächen-
bearbeitungen.

2. Versuchsreihe

Sie ist als Kontrollversuchsreihe zu den Versuchsreihen 1, 3 und 4 gedacht, die Proben werden nicht fluoridiert. Es werden folgende Oberflächenbearbeitungen durchgeführt:



wobei die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz getestet wird. Diese Versuchsreihe besteht aus einer (der 6.) Versuchsserie. Nach dem Versiegeln werden die Proben für 24 Stunden in Wasser gelagert, getrocknet und abgerissen. Folgende Proben wurden angefertigt:

Versuchsserie	Proben mit Angabe der durchgeführten Oberflächenbehandlungen und der benutzten Versiegler
6	$\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{V1}$
	$\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{V2}$
	$\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{V3}$
	$\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{V4}$
	$\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{V5}$
	$\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{V6}$
	$\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{V7}$

Tab. 4: Proben der 2. Versuchsreihe mit Angabe der Oberflächenbearbeitung.

3. Versuchsreihe

Um den Einfluß des Mundmilieus (Feuchtigkeit) auf die Haftfähigkeit der Versiegler am Schmelz zu untersuchen, wurde die dritte Versuchsreihe mit 3 (7, 8, 9) Versuchsserien durchgeführt. Dazu werden zwei Versiegler: V1-Delton und V2-Nuva Seal sowie zwei Fluoridierungsmittel: F2-Elmex fluid und F3-Duraphat eingesetzt. Die Proben werden nach dem Versiegeln für sechs Wochen

im Wasser gelagert, wobei auch hier nach dem Fluoridieren die Proben für 24 Stunden im Wasser lagern und anschließend versiegelt werden.

Versuchsserie	Proben mit Angabe der Oberflächenbehandlungen und der benutzten Versiegler und Fluoridierungsmittel
7	BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V1 BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V2
8	BeO + Sp + Z + Ä + V1 BeO + Sp + Z + Ä + V2
9	BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V1 BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V2

Tab. 5: Proben der 3. Versuchsreihe mit Angabe der Oberflächenbearbeitungen.

4. Versuchsreihe

Bei dieser Versuchsreihe werden die Proben erst nach dem Anätzen fluoridiert. Die Fluoridierung wird wie auch bei den anderen Versuchsreihen gemäß den Vorschriften der Hersteller während vier Minuten durchgeführt. Anschließend wird sofort versiegelt. Es werden zwei Versiegler: V1-Delton und V2-Nuva Seal sowie drei Fluoridierungsmittel F2-Elmex fluid, F3-Duraphat und F5-Fluor Gel eingesetzt. Es wurden zwei Versuchsserien (10, 11) durchgeführt. In der 11. Versuchsserie wurden in der 2. Versuchsanordnung Fluor-Gel anstatt Duraphat benutzt, da es sich herausstellte, daß Duraphat nach vier Minuten nicht zu entfernen ist. Es bildet sich ein lackartiger, zäher Film, der nach 24 Stunden leicht entfernbar ist.

Versuchsserie	Proben mit Angabe der Oberflächenbehandlungen und der benutzten Versiegler und Fluoridierungsmittel
10	BeO + Sp + Z + Ä + F2 + V1 BeO + Sp + Z + Ä + F2 + V2
11	BeO + Sp + Z + Ä + F3 + V1 BeO + Sp + Z + Ä + F5 + V2

Tab. 6: Proben der 4. Versuchsreihe mit Angabe der Oberflächenbearbeitungen.

3.2.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Die R.E.M.-Untersuchungen sollen Aufschluß geben über:

- Auswirkungen der Säurebehandlung am Schmelz, Ätzmuster, Unterschiede im Ätzmuster beschliffener und nicht-beschliffener Zahnoberflächen sowie über eine mögliche Beeinflussung des Ätzmusters durch Fluoridierung;
- die Grenzschicht geätzter Schmelz-Versiegler und damit über das Benetzungsverhalten des Versieglers am Schmelz;
- mögliche Belagsbildungen durch eine Fluoridierung bzw. die Morphologie und die Möglichkeit, diese durch unterschiedlich lang durchgeführte Spülungen (Wasser + Luft) zu entfernen.

Es werden Untersuchungen sowohl an unbeschliffenen als auch an beschliffenen Zahnoberflächen durchgeführt. Die Proben werden, wie in den Vorversuchen beschrieben, vorbereitet und untersucht. Geätzt wird mit 50 %iger H_3PO_4 . Eine Auswahl charakteristischer Aufnahmen aus insgesamt über 100 Bildern wird in den Abb. 6 bis 24 gezeigt.

3.2.3. Ergebnisse der Hauptversuche

1. Haftfestigkeit

Die beim Abzug an der Prüfmaschine ermittelten k_p -Werte werden nach der in den Vorversuchen entwickelten Formel $F = K \times 0,27$ in N/mm^2 umgerechnet. Von den fünf Proben einer Versuchsanordnung wird anschließend die mittlere Haftfestigkeit $\bar{x}$ ermittelt:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5}$$

Zwecks besser Übersicht werden die Ergebnisse der Haftwerte aus den Versuchsreihen in Tabellen und Säulendiagrammen dargestellt. Es werden auch die Minimal- und Maximalwerte der einzelnen Versuchsanordnungen angegeben. Bei den Säulendiagrammen ist die mittlere Haftfestigkeit durch die Säulenhöhe gegeben, Minimal- und Maximalwerte sind als Punkte erkennbar.

1. Versuchsreihe

Vergleicht man innerhalb dieser Versuchsreihe den Einfluß der einzelnen Fluoridierungsmittel auf die Haftfestigkeit der sieben Versiegler am Schmelz, so kann man Folgendes feststellen:

- Die Kombination Elmex Gelee + Versiegler entspricht in etwa den ermittelten Durchschnittswerten. Die Streuung liegt zwischen $1,5 - 5 N/mm^2$.
- Die Kombination Elmex fluid + Versiegler ergibt ebenfalls mit Ausnahme von Nuvaseal und Estiseal L.C., für die die höchsten Mittelwerte ermittelt wurde ($9,1$ und $7,04$), in etwa Durchschnittswerte. Die Streubreite liegt zwischen $3,7$ und $5,8 N/mm^2$.

Versuchs- reihe mit Oberflä- chenbhdg.	Ver- suchs- serie	Haftwerte in N/mm ²		Fluoridierungs- mittel	Versiegler
		mittel	max. min.		
1. BeO + Sp + Z + Z + Z + Ä	1	4,3	6,21 1,9	F1 Elmex Gelee	V1-Delton
		5,16	8,5 3,3	F1	V2-Nuva Seal
		3,87	4,94 2,97	F1	V3-Estiseal SC
		5,3	6,69 3,24	F1	V4-Durafill Bond
		2,64	5,4 0,94	F1	V5 Contact Seal
		3,92	4,72 3,24	F1	V6 Plura-Seal
		6,61	8,91 3,99	F1	V7 Estiseal LC
		3,68	7,4 1,3	F2-Elmex fluid	V1
		9,1	11,34 5,5	F2	V2
		5,9	9,45 3,4	F2	V3
2	2	7	8,4 4,7	F2	V4
		3,86	5,7 2	F2	V5
		5,3	8,3 3	F2	V6
		7,04	9 5,8	F2	V7
		8,46	13,7 3,2	F3-Duraphat	V1
		6,1	11 1,2	F3	V2
		6,28	8,9 3	F3	V3
		6,52	8,6 4	F3	V4
		3,83	4,7 1,75	F3	V5
		6,13	9,3 3,6	F3	V6
3	3	5,57	9,45 2,97	F3	V7

Forts. d. Tab. 7:

Versuchs- reihe mit Oberflä- chenbhdg.	Ver- suchs- serie	Haftwerte in N/mm ²		Fluoridierungs- mittel	Versiegler
		mittel	max. min.		
4		5,86	8,4 3,8	F4-Fluor Pro- tector	V1
		5,43	7,8 4,45	F4	V2
		6,7	8,6 4,7	F4	V3
		5,54	7,2 4,3	F4	V4
		3,9	5,4 1,6	F4	V5
		5,65	8 3,5	F4	V6
		6,46	7,4 5,1	F4	V7
		3,92	6,5 1,6	F5-Fluor Gel	V1
		6,28	11,1 1,6	F5	V2
5		4,17	7,4 1,35	F5	V3
		5,08	7,3 2,3	F5	V4
		1,83	3,5 0,4	F5	V5
		7,78	8,9 5,4	F5	V6
		6,56	8,1 2	F5	V7

Tab. 7: Mittlere Haftfestigkeiten sowie Minimal- und Maximalwerte der Proben aus der 1. Versuchsreihe.

- Die Kombination Duraphat + Versiegler ergab den überhaupt höchsten gefundenen Maximalwert in dieser Versuchsreihe mit 13,7 N/mm², für Delton. Hier wurden auch - mit Ausnahme von Nuva Seal - die im Durchschnitt höchsten Mittelwerte ermittelt. Dasselbe gilt auch für die Streuung. Sie liegt zwischen 4 und 10 N/mm².

- Die Kombination Fluor Protector + Versiegler ergab für die Haftfestigkeit ebenfalls Durchschnittswerte. Die Streubreite wechselt zwischen 2,3 - 4,8 N/mm².
- Die Kombination Fluor Gel + Versiegler zeigt ebenfalls Durchschnittswerte. Für Contact Seal wird hier der kleinste Mittelwert festgestellt (1,83 N/mm²). Für Plura Seal ergab sich hier der größte Mittelwert von 7,78 N/mm². Die Streubreite liegt zwischen 3,1 und 9,5 N/mm².

Die Haftwerte der einzelnen Versiegler liegen im Durchschnitt bei 4 bis 6 N/mm². Die höchsten Mittelwerte wurden für Delton (8,46) und Nuva Seal (9,1) gefunden, dies aber nur jeweils einmal. Die kleinsten Haftwerte wurden eindeutig bei Contact Seal festgestellt; sie liegen zwischen 1,83 und 3,9 N/mm². Die Streubreite variiert ebenfalls: Sie liegt im Durchschnitt bei 3 bis 5 N/mm² und verläuft weitgehend parallel zu den Mittelwerten.

2. Versuchsreihe

Versuchsreihe mit Oberflä- chenbearbeitung	Versuchs- serie	Haftwerte in N/mm ²		Versiegler
		mittel	max. min.	
2. BeO + Sp + Z + Ä + V	6	4,38	7,4 2	V1
		2,44	5,7 0,6	V2
		2,84	4,6 1,9	V3
		2,85	3,8 1,35	V4
		1,68	3,2 0,5	V5
		1,09	2 0,6	V6
		4,79	7,8 1,35	V7

Tab. 8: Mittlere Haftfestigkeiten sowie Minimal- und Maximalwerte aus der 2. Versuchsreihe.

Die ermittelten mittleren Haftwerte liegen zwischen 1,09 N/mm² für Plura Seal und 4,79 N/mm² für Estiseal LC, der Durchschnitt liegt in etwa bei 2,8 N/mm². Die Streuung liegt zwischen 1,4 und 5,4 N/mm².

Eine gute Übersicht gibt Tabelle 9, in der die Haftwerte fluoridierter und nichtfluoridierter Proben angeführt werden (N/mm²):

F	V1		V2		V3		V4		V5		V6		V7	
F1	4,3	6,21 1,9	5,3	8,5 3,3	3,9	4,99 2,97	5,3	6,69 3,24	2,6	5,4 0,94	3,1	4,72 3,24	6,6	8,71 3,99
F2	3,68	7,4 1,3	9,1	11,34 5,5	5,9	9,45 3,4	7	8,4 4,7	3,8	5,7 2	5,3	8,3 3	7	9 5,8
F3	8,4	13,2 3,2	6,1	11 1,2	6,3	8,9 3	6,5	8,6 4	3,8	4,7 1,75	6,1	9,3 3,6	5,5	9,45 2,97
F4	5,8	8,4 3,8	5,4	7,8 4,45	6,7	8,6 4,7	5,5	7,2 4,3	3,9	5,4 1,6	5,6	8,5 3,5	6,5	7,4 5,1
F5	3,9	6,5 1,6	6,3	11,1 1,6	4,2	7,4 1,35	5	7,3 2,3	1,8	3,8 0,4	7,8	8,9 5,4	6,6	8,1 2
-	4,4	7,4 2	2,4	5,7 0,6	2,8	4,6 1,9	2,8	3,8 1,35	1,6	3,2 0,5	1,1	2 0,6	4,8	7,8 1,35

Tab. 9: Mittlere Haftfestigkeiten sowie Minimal- und Maximalwerte fluoridierter und nichtfluoridierter Proben am Schmelz.

Bei einem Vergleich der Haftwerte fluoridierter und nichtfluoridierter Proben kann man feststellen:

- Die kleinsten Haftwerte sind bei den nichtfluoridierten Proben bei Plura Seal zu verzeichnen. Sie liegen zwischen 3 bis 6,7 N/mm² unter den Werten, die bei den fluoridierten Proben erzielt wurden. Eine Fluoridierung führt bei Plura Seal zu einer signifikant besseren Haftung. Dasselbe gilt auch für Nuva Seal.
- Die mittleren Haftwerte liegen bei den nichtfluoridierten Proben bei Plura Seal zu verzeichnen. Sie liegen zwischen 3 bis 6,7 N/mm² unter den Werten, die bei den fluoridierten Proben erzielt wurden. Eine Fluoridierung führt bei Plura Seal zu einer signifikant besseren Haftung. Dasselbe gilt auch für Nuva Seal.

ten Proben deutlich unter den Werten, die bei fluoridierten Proben erzielt wurden. Im einzelnen sind folgende Unterschiede zu verzeichnen:

bei: V2 3 - 6,8 N/mm²
V3 1 - 4 N/mm²
V4 2 - 4 N/mm²
V5 0,2 - 2,1 N/mm²
V6 2,8 - 6,7 N/mm²
V7 0,8 - 2,2 N/mm²

V1 sind mit Ausnahme von Duraphat keine Unterschiede zu verzeichnen.

Ebenfalls einen klaren und direkten Vergleich der Haftwerte fluoridierter und nichtfluoridierter Proben vermitteln die Säulendiagramme 1, 2, 3, 4 und 5. Besonders übersichtlich ist die Beurteilung der Streuwerte. Sie liegen weitgehend parallel zu den Mittelwerten.

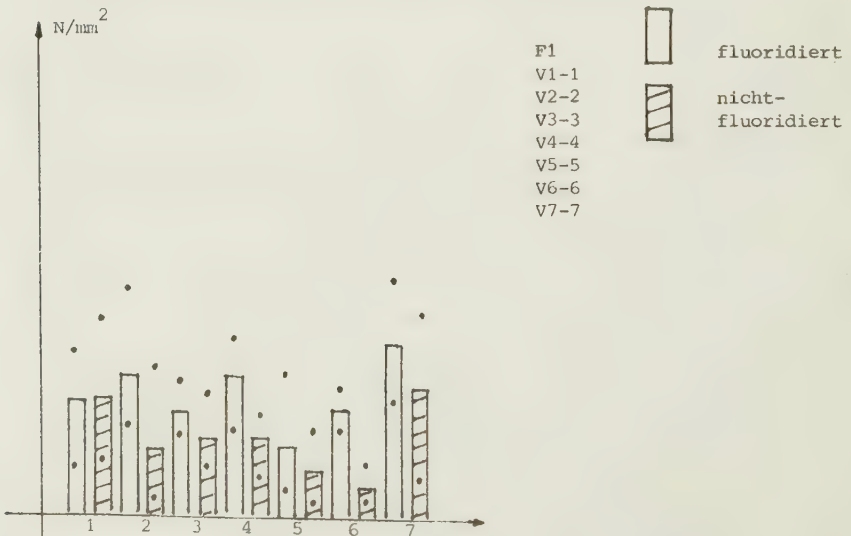


Diagramm 1: Haftfestigkeit fluoridierter und nichtfluoridierter Proben am Schmelz. Mittelwerte sowie Minimal- und Maximalwerte.

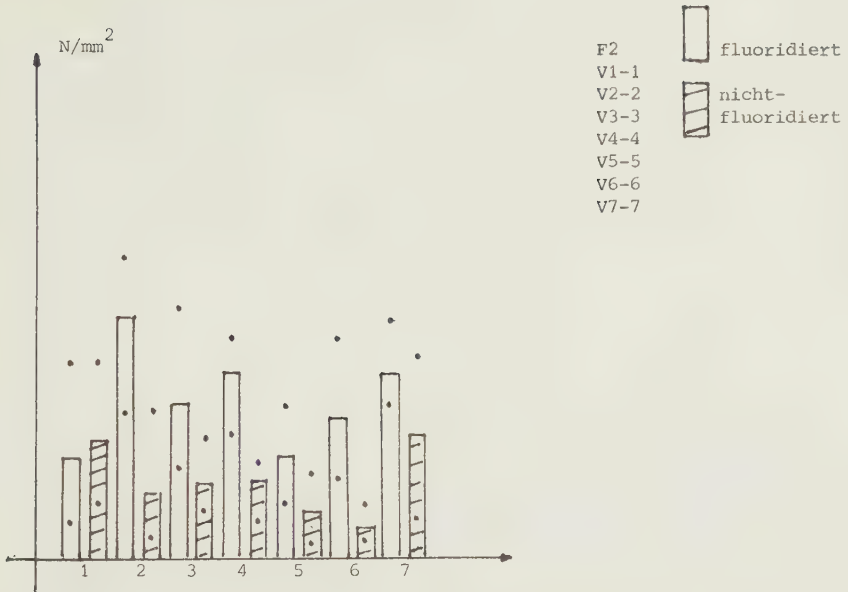


Diagramm 2: Haftfestigkeiten fluoridierter und nicht fluoridierter Proben am Schmelz mit Angabe der mittleren, maximalen und minimalen Haftwerte (N/mm^2).

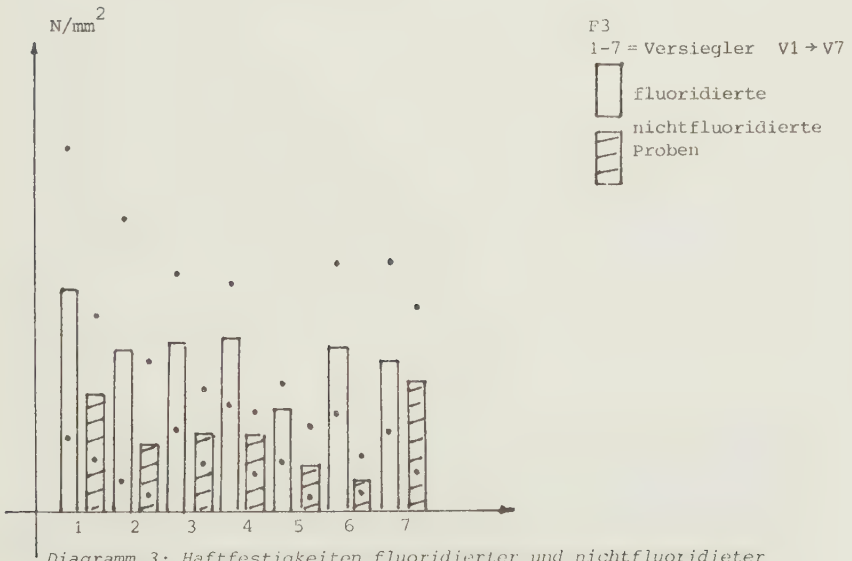


Diagramm 3: Haftfestigkeiten fluoridierter und nichtfluoridierter Proben mit Angabe der mittleren, maximalen und minimalen Haftwerte (N/mm^2).

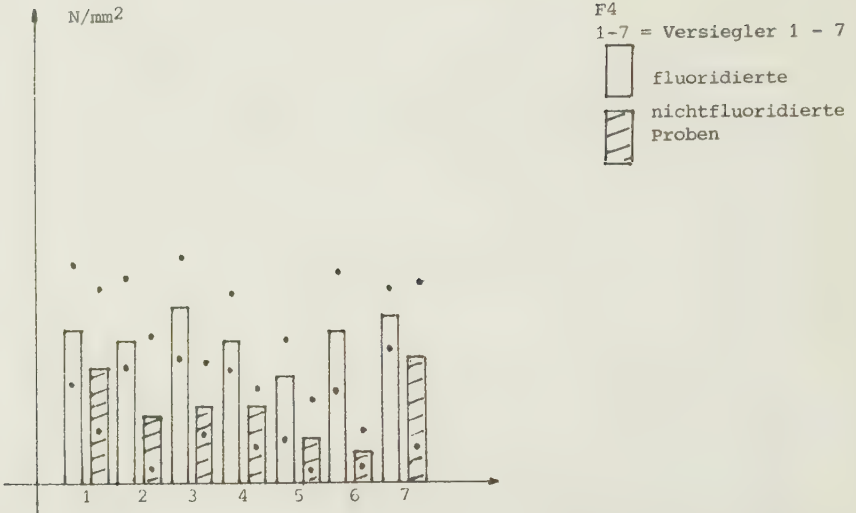


Diagramm 4: Haftfestigkeiten fluoridierter und nichtfluoridierter Proben mit Angabe der mittleren, maximalen und minimalen Haftwerte (N/mm²)



Diagramm 5: Haftfestigkeiten fluoridierter und nichtfluoridierter Proben mit Angabe der mittleren, maximalen und minimalen Haftwerte (N/mm²).

3. Versuchsreihe

Versuchsreihe mit Oberflä- chenbehandlg.	Ver- suchs- serie	Haftwerte in N/mm ²		Fluoridierungs- mittel	Versiegler
		mittel	max. min.		
	7	6,16	7,3 5,2	F2	V1
BeO + Sp		9,19	12,8 5,5	F2	V2
+ Z + F					
+ Z + Ä		5,26	6,2 2,7	F3	V1
3. + V	9	11,64	14 8,8	F3	V2
BeO + Sp		5,25	7,8 1,6	-	V1
+ Z + Ä	8		9,75	-	
+ V		5,79	0,94	-	V2

Tab. 10: Mittlere Haftfestigkeiten sowie Minimal- und Maximalwerte der Proben aus der 3. Versuchsreihe.

Ein Vergleich der Haftwerte fluoridierter Proben untereinander zeigt auch hier wie auch bei den Proben mit einer Wasserlagerungszeit von 24 Stunden für die Kombination Elmex-fluid - Nuva Seal überdurchschnittlich hohe Haftwerte. Diese Parallelität besteht bei Duraphat nicht mehr. Bei einer Wasserlagerung von sechs Wochen werden Höchstwerte mit Nuva Seal erzielt, während bei einer 24-stündigen Wasserlagerung diese mit Delton erreicht werden.

Ein Vergleich zwischen fluoridierten und nichtfluoridierten Proben zeigt auch hier, daß die Haftwerte bei den fluoridierten Proben höher liegen. Ebenfalls zu beachten ist, daß dieser Unterschied in den Haftwerten für Delton kaum oder gar nicht gilt.

Aufschluß über den Einfluß unterschiedlicher Lagerzeiten der Proben im Wasser auf die Haftwerte der Versiegler am Schmelz gibt Tabelle 11.

F	V1				V2			
	24 Std.		6 Wochen		24 Std.		6 Wochen	
F2	3,68	7,4 1,3	6,16	7,3 5,2	9,1	11,34 5,5	9,19	12,8 5,5
F3	8,46	13,7 3,2	5,26	6,2 2,7	6,1	11 1,2	11,64	14 8,8
-	4,38	7,4 2	5,25	7,8 1,6	2,44	5,7 0,6	5,79	9,72 0,94

Tab. 11: Haftwerte fluoridierter und nichtfluoridierter Proben bei unterschiedlicher Lagerzeit im Wasser.

Es ist zu erkennen, daß generell die Haftwerte bei einer längeren Wasserlagerung höher liegen. Dieser Trend ist bei den nichtfluoridierten Proben nicht so stark ausgeprägt. Bei der Kombination Elmex fluid (F2) - Nuva Seal (V2) ist kein Unterschied bemerkbar; die Haftwerte liegen hier aber weit über dem Durchschnitt. Die Kombination Duraphat (F3) und Delton (V1) läßt einen umgekehrten Trend erkennen; die Haftung fällt bei längeren Lagerzeiten im Wasser.

4. Versuchsreihe

Es ist klar erkennbar, daß eine Fluoridierung nach dem Anätzen zu einem signifikanten Rückgang des Haftvermögens führt. Besonders deutlich ist dies bei der Kombination Elmex fluid - Delton erkennbar. Etwas höhere Werte, die in etwa den nichtfluoridierten Proben entsprechen, sind für Nuva Seal zu verzeichnen, die aber bei den vorfluoridierten Proben drei- bis viermal höher liegen.

Versuchsreihe mit Oberflä- chenbehandlg.	Ver- suchs- serie	Haftwerte in N/mm ²		Fluoridierungs- mittel	Versiegler
		mittel	max. min.		
4.	10	0,76	1,6	F2	V1
			0,1		
		2,4	2,6	F2	V2
			1,9		
BeO + Sp +	11	0,29	0,7	F3	V1
Z + Ä + F			0		
+ V		2,06	2,7	F5	V2
			1,2		

Tab. 12: Mittlere Haftfestigkeiten sowie Minimal- und Maximalwerte der Proben aus der 4. Versuchsreihe.

Die Werte der Kombination Duraphat - Delton sind irrelevant, weil Duraphat - wie schon erwähnt - nach vier Minuten nicht entfernbar ist. Einen Vergleich der Haftwerte vor und nachfluoridierter sowie nichtfluoridierter Proben bei unterschiedlicher Wasserlagerung gibt Tab. 13:

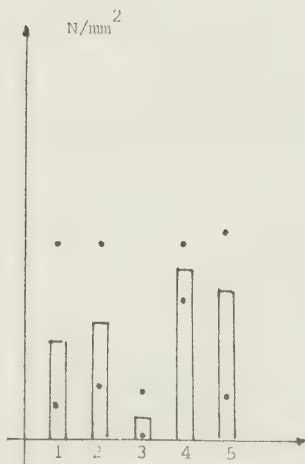
Fluori- dierungs- mittel	V 1				
	Vorfluor- ridiert 24 Std.	Nicht- fluor. 24 Std.	Nach- fluor. 24 Std.	Vorfluor- ridiert 6 Wochen	Nicht fluorid. 6 Wochen
F2	3,68 7,4 1,3		0,76 1,6 0,1	6,16 7,3 5,2	
F3	8,46 13,7 3,2		0,29 0,7 0	5,26 6,2 2,7	
F5	3,92 6,5 1,6				
-		4,38 7,4 2			5,27 7,8 1,6

Forts. d. Tab. 13:

Fluoridierungs- mittel	V 2					
	Vorfluoridiert		Nachfluor.		Nichtfluorid.	
	24 Std.		24 Std.		6 Wochen	
F ₂	9,1	11,34 5,5	2,4	2,6 1,9	9,19	12,8 5,5
F ₃	6,1	11 1,1			11,64	14 8,8
F ₅	6,28	11,1 1,6	2,06	2,7 1,2	2,06	
-		2,44	5,7 0,6		5,79	9,72 0,94

Tab. 13: Haftwerte vor und nachfluoridierter sowie nichtfluoridierter bei einer Wasserlagerung von 24 Stunden und 6 Wochen.

Einen ähnlichen Vergleich zeigen die Säulendiagramme 6, 7, 8 und 9:



- 1 BeO + Sp + Z + F₂ + Z + K + V1 (24 Std.)
- 2 BeO + Sp + Z + K + V1 (24 Std.)
- 3 BeO + Sp + Z + K + F₂ + V1 (24 Std.)
- 4 BeO + Sp + Z + F₂ + Z + K + V1 (6 Wo.)
- 5 = BeO + Sp + Z + K + V1 (6 Wo.)

Diagramm 6: Haftwerte vor und nachfluoridierter sowie nichtfluoridierter Proben bei einer Wasserlagerung von 24 Stunden und 6 Wochen.

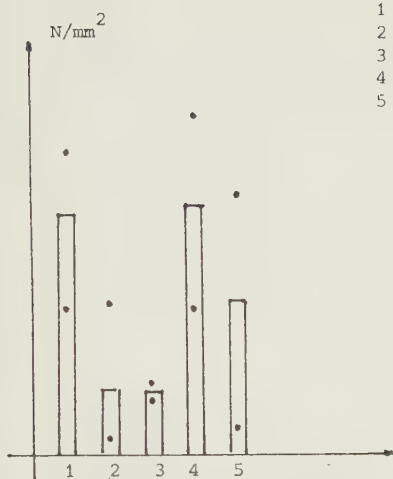


Diagramm 7: Haftwerte vor und nachfluoridierter sowie nichtfluoridierter Proben bei einer Wasserlagerung von 24 Stunden und 6 Wochen.

- 1 = BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V2 (24 Std.)
- 2 = BeO + Sp + Z + Ä + V2 (24 Std.)
- 3 = BeO + Sp + Z + Ä + F2 + V2) (24 Std.)
- 4 = BeO + Sp + Z + F2 + Z + Ä + V2 (6 Wo.)
- 5 = BeO + Sp + Z + Ä + V2 (6 Wo.)

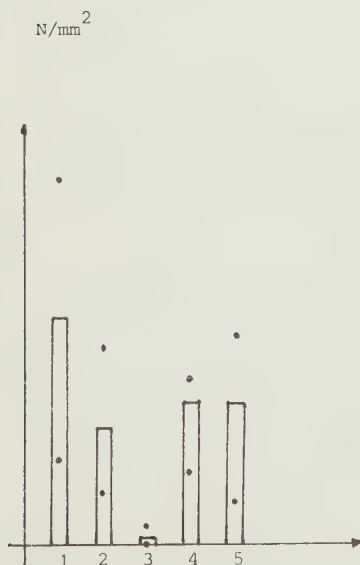


Diagramm 8: Haftwerte vor- und nachfluoridierter sowie nichtfluoridierter Proben bei einer Wasserlagerung von 24 Stunden und 6 Wochen.

- 1 = BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V1 (24 Std.)
- 2 = BeO + Sp + Z + Ä + V1 (24 Std.)
- 3 = BeO + Sp + Z + Ä + F3 + V1 (24 Std.)
- 4 = BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V1 (6 Wo.)
- 5 = BeO + Sp + Z + Ä + V1 (6 Wo.)

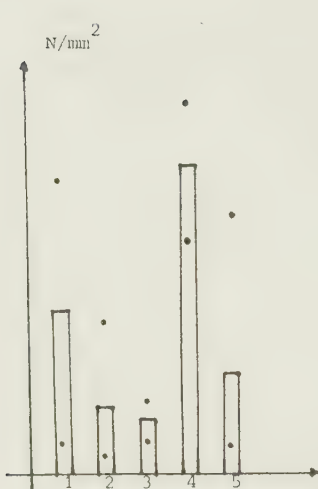


Diagramm 9: Haftwerte vor- und nachfluoridierter sowie nichtfluoridierter Proben bei einer Wasserlagerung bei 24 Stunden und 6 Wochen.

- 1 = BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V2 (24 Std.)
2 = BeO + Sp + Z + Ä + V2 (24 Std.)
3 = BeO + Sp + Z + Ä + F5 + V2 (24 Std.)
4 = BeO + Sp + Z + F3 + Z + Ä + V2 (6 Wo.)
5 = BeO + Sp + Z + Ä + V2 (6 Wo.)

2. Klinisch irrelevante Brüche

Bei den Abrißversuchen wurde festgestellt, daß es nicht nur zu einer Lösung der Klebefläche Schmelz-Adhäsiv kommt, sondern, daß auch andere Abrißmöglichkeiten bestehen:

- Abriß im Material
- Bruch zum Teil im Material, zum Teil an der Klebefläche.

Brüche im Material treten hauptsächlich bei den erzielten Maximalwerten auf. Die abgelesenen Werte sind in diesem Fall keine Haftwerte, sondern sie entsprechen der Zerreißfestigkeit des Materials. Diese Werte werden trotzdem in die Versuchsergebnisse übernommen, da sie - genau betrachtet - unter den eigentlichen Haftwerten liegen.

Dabei zeigt sich, daß Nuva Seal und Delton die größte Zerreißfestigkeit besitzen. Bei diesen Materialien wurden die höchsten Werte gemessen. Contact Seal, ein sprödes

Material, zeigt dagegen die kleinste Zerreißfestigkeit. Die Tabellen 15 bis 18 (siehe Tabellenanhang) geben - für jede einzelne Probe - Aufschluß über die Haftwerte am Schmelz und dem jeweiligen Abrißort. Dabei zeigt sich, daß für die erste Versuchsreihe die meisten Abrißorte - mit Ausnahme von Plura Seal, wo die Abrisse meistens an der Zahnoberfläche stattfinden, im Material oder zum Teil am Zahn, zum Teil im Material, zu verzeichnen sind.

Bei der zweiten Versuchsreihe ist der Anteil der Abrisse am Zahn schon viel größer. Bei der dritten Versuchsreihe liegen die Abrißorte wieder überwiegend im Material oder zum Teil am Zahn, zum Teil im Material. Bei der vierten Versuchsreihe liegen die Abrißorte ausschließlich am Zahn.

Die Tabelle 14 gibt Auskunft über die zahlenmäßige Verteilung der Abrißorte auf die einzelnen Versiegler und den prozentuellen Anteil der einzelnen Abrißorte.

	Am Zahn	Im Material	Zum Teil am Zahn, zum Teil im Material
v1	19	22	12
v2	18	12	24
v3	10	5	10
v4	10	13	7
v5	6	11	13
v6	21	4	1
v7	8	16	5
Prozentualer Anteil	37,3	33,6	19,1

Tab. 14: Zahlenmäßige Verteilung der Abrißorte auf die einzelnen Versiegler und prozentueller Anteil der einzelnen Abrißorte.

37,3 % aller Abrisse finden an der Schmelzoberfläche statt, wobei anzumerken ist, daß bei der 4. Versuchsreihe alle Abrisse am Zahn stattgefunden haben. Bei Plura Seal wurden hauptsächlich Abrisse am Schmelz registriert.

3. Statistische Auswertung

Die ermittelten Versuchsergebnisse werden in zwei parallelen (I und II) Untersuchungsreihen mit jeweils drei Untersuchungsserien nach dem MANN-WHITNEY-U-Test (88) untersucht. Dieser Test ist als verteilungsfreies Prüfverfahren geeignet, weil schon kleine Probenzahlen (4 - 40) ausreichend für seine Anwendung sind.

Die hier vorliegenden $n = 5$ Proben werden auf dem 5 %-Niveau auf signifikante Unterschiede untersucht. Es ist festzuhalten, daß die ermittelten Unterschiede signifikant oder nicht-signifikant keine Aussage über Haftwerte darstellen, sondern lediglich darüber Auskunft geben, ob zwischen den zu vergleichenden Probenpaaren signifikante Unterschiede in der Haftung bestehen.

I. Untersuchungsreihe

Es werden alle ermittelten Werte, unabhängig vom Abrißort, in die Untersuchung miteinbezogen:

1. Auswirkung einer vor dem Anätzen durchgeführten Fluoridierung auf die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz. Es werden die Haftwerte fluoridierter (F.V.) und nichtfluoridierter (V) Proben auf signifikante Unterschiede untersucht. Es handelt sich um

die Proben aus der 1. und 2. Versuchsreihe der Haftversuche. Signifikante Unterschiede ergaben sich bei folgenden Paarungen:

F1V2-V2	F2V2-V2	F3V3-V3	F4V2-V2	F5V6-V6
F1V4-V4	F2V3-V3	F3V4-V4	F4V3-V3	
F1V6-V6	F2V4-V4	F3V5-V5	F4V4-V4	
	F2V5-V5	F3V6-V6	F4V5-V5	
	F2V6-V6		F4V6-V6	

Bei diesen Paarungen führt eine Fluoridierung vor dem Ansätzen zu einer signifikant besseren Haftung.

2. Auswirkungen unterschiedlicher Wasserlagerung (24 Stunden und 6 Wochen) auf die Haftfestigkeit der Versiegler fluoridierter und nicht-fluoridierter Proben. Es werden die Proben aus der 3. Untersuchungsreihe mit den entsprechenden Proben aus der 1. Untersuchungsreihe der Haftversuche auf signifikante Unterschiede untersucht. Hier ergab sich nur bei einer Paarung:

$F2V2_{6Wo.} - F2V2_{24h}$

eine signifikant bessere Haftung für die Probe, die sechs Wochen im Wasser gelagert wurde.

3. Auswirkung des Zeitpunktes der Fluoridierung auf die Haftfestigkeit: Es werden die Proben aus der 4. Versuchsreihe (Abkürzung F + Ä + V) mit:

- den entsprechenden Proben der 1. Versuchsreihe (Abkürzung F + Ä + V)
- den entsprechenden Proben der 2. Versuchsreihe (Abkürzung Ä + V)

aus den Haftversuchen miteinander verglichen. Bei folgenden Paarungen ergaben sich signifikante Unterschiede:

$$F2 + \bar{A} + V1 - \bar{A} + F2 + V1$$

$$F2 + \bar{A} + V2 - \bar{A} + F2 + V2$$

$$F3 + \bar{A} + V1 - \bar{A} + F3 + V1$$

$$F5 + \bar{A} + V2 - \bar{A} + F5 + V2$$

$$\bar{A} + V1 - \bar{A} + F2 + V1$$

$$\bar{A} + V1 - \bar{A} + F3 + V1$$

Das heißt, von insgesamt acht untersuchten Paarungen waren es nur zwei, bei denen sich keine signifikante Unterschiede ergaben:

$$\bar{A} + V2 - \bar{A} + F2 + V2$$

$$\bar{A} + V2 - \bar{A} + F2 + V2$$

Der direkte Vergleich der fluoridierten Proben ergab bei allen Paarungen eine signifikant bessere Haftung für die Proben, bei denen die Fluoridierung vor dem Anätzen durchgeführt wurde.

II. Untersuchungsreihe

Es wurden nur echte Haftwerte in Betracht gezogen. Das sind die Werte, die bei Abrissen am Zahn oder zum Teil am Zahn, zum Teil im Material ermittelt wurden. Letztere können auch als Haftwerte betrachtet werden, da wir davon ausgehen, daß der Abriß an der Schmelzoberfläche beginnt.

Es ergab sich aber, daß die Anzahl der Proben, die für die Untersuchungen zur Verfügung standen, zu klein war. Auch bei klaren Unterschieden, ohne Überschneidungen der Werte, ergaben sich kaum oder keine signifikanten Unterschiede. Man kann dann nur von einer Tendenz zu signifikanten Unterschieden sprechen. Signifikante Unterschiede ergaben sich bei folgenden Paarungen:

1. Versuchsserie

F1V2-V2 F2V6-V6 F3V6-V6 F4V2-V2 F5V6-V6
F1V4-V4 F4V3-V3
F1V6-V6 F4V4-V4
 F4V6-V6

mit Tendenz: F2V2-V2 F3V3-V3 F5V2-V2
 F2V3-V3

2. Versuchsserie

(keine signifikanten Unterschiede)

Eine Tendenz bei der Paarung $F2V2_{6Wo.} - F2V2_{24h}$

3. Versuchsserie

$K + V1$ $- K + F2 + V1$
 $F2 + K + V2$ $- K + F2 + V2$
 $K + V1$ $- K + F3 + V1$

Eine Tendenz bei der Paarung: $F5 + K + V2 - K + F5 + V2$

4. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

a) Unbeschliffene, natürliche Zahnoberflächen (Abb. 6 - 14)

Der unbeschliffene Schmelz zeigt eine leicht gewellte Oberfläche (Abb. 6). In den Tälern sind Ansätze der Schmelzprismen erkennbar (Abb. 7). Bei starker Vergrößerung sind hauptsächlich auf den Kuppen trotz der relativ kurzen Gebrauchsperiode deutliche Kratzspuren und Schliffusuren zu erkennen (Abb. 8).

Eine Fluoridierung mit unterschiedlichen Fluoridierungsmitteln führt generell zu keinen sichtbaren Belagsbildungen (Abb. 9), die Oberfläche ist sauber und glatt.

Isoliert treten einzelne, inselförmig ausgebildete, mikroglobuläre Beläge auf (Abb. 10) (Spülung = 30 Sekunden). Bei kurzem Spülen (5 Sekunden) treten - besonders in den Tälern - krustenförmige, locker aufliegende Beläge auf (Abb. 11).

Bei starker Vergrößerung lassen sich hier auch in den scheinbar sauberen Arealen vereinzelte, kleine und locker aufliegende kugelförmige Formationen erkennen (Abb. 12).

Das Ätzmuster ist unterschiedlich ausgebildet. Dies gilt sowohl für den Ausprägungsgrad des Ätzmusters als auch für die verschiedenen Ätzmustertypen. Abb. 13 zeigt ein Gebiet mit vorausweisem Verlust der Prismenperipherie, gleichzeitig sind auch Gebiete mit nur geringer Auflösung und uncharakteristischen Ätzstrukturen zu erkennen. Letztere sind typisch für das Ätzmuster natürlicher, unbeschliffener Schmelzoberflächen. Auch Ätzmusterfreie Gebiete wurden beobachtet. Derartige Bilder lassen sich sowohl an benachbarten Stellen eines Zahnes als auch bei verschiedenen Zähnen nachweisen.

Eine Beeinflussung des Ätzmusters durch Fluoridierungsmittel konnte nicht festgestellt werden. Die Versiegler zeigen alle einen randdichten Abschluß am Schmelz und einen günstigen Benetzungswinkel (Abb. 14).

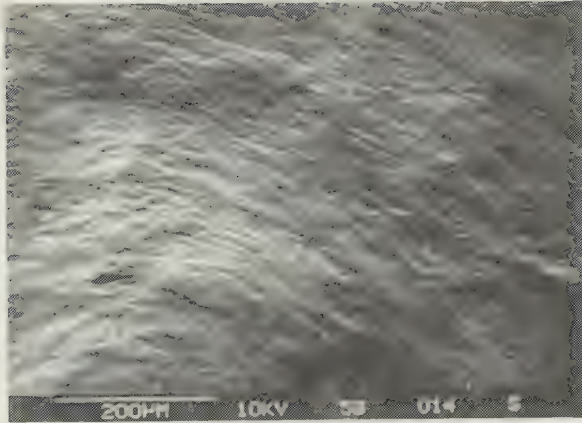


Abb. 6: NO + Z. Die Oberfläche ist leicht gewellt und zeigt Kratzspuren.

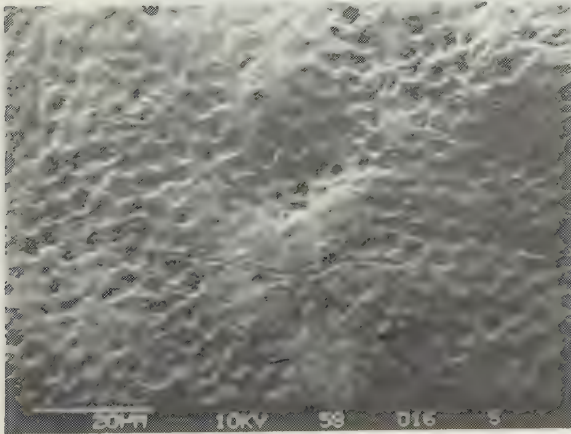


Abb. 7: NO + Sp + Z mit erkennbaren Schmelzstrukturen.

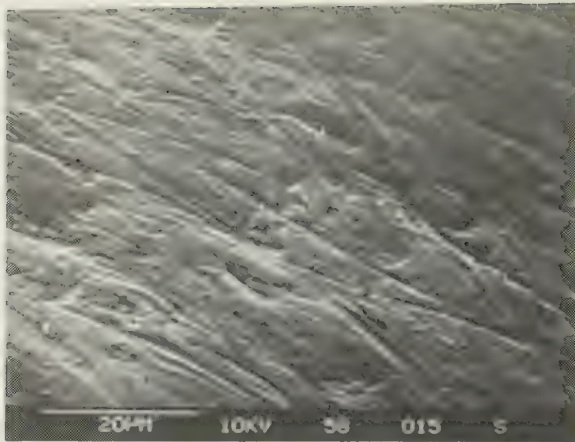


Abb. 8: NO + Z mit erkennbaren Kratzspuren und Schliffursen.

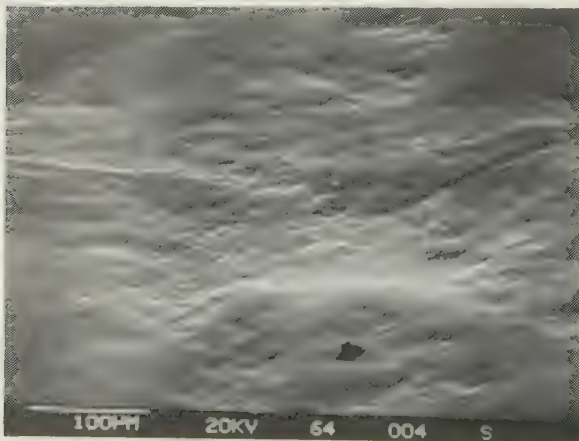


Abb. 9: NO + Sp + Z + F. Nach dem Fluoridieren 30 Sekunden gespült. Die Oberfläche ist sauber; es sind keine Belagsbildungen erkennbar.

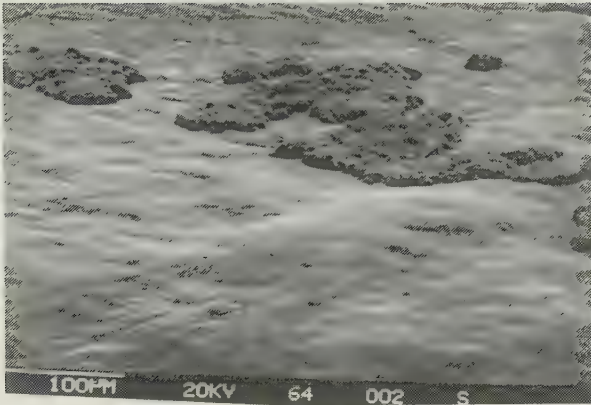


Abb. 10: NO + Sp + Z + F. Nach dem Fluoridieren 30 Sekunden gespült.
Es sind einzelne, inselförmig ausgebildete mikroglobuläre
Beläge erkennbar.

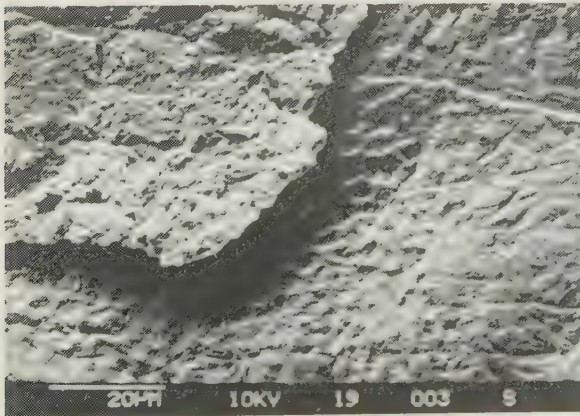


Abb. 11: NO + Sp + Z + F. Nach dem Fluoridieren 5 Sekunden gespült.
Auf der Schmelzoberfläche mit erkennbaren Strukturelementen
sind locker aufliegende krustenförmige Beläge erkennbar.

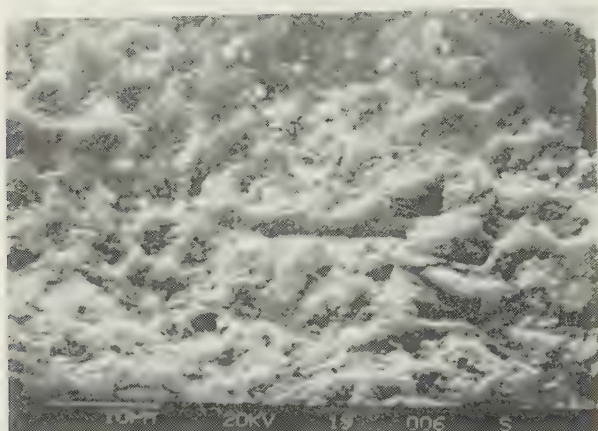


Abb. 12: VC + Sp + Z + F. Nach dem Fluoridieren 5 Sekunden gespült. Vergrößerung der Abb. 11. Auf der Schmelzoberfläche sind kleine kugelförmige, locker aufliegende Formationen erkennbar.

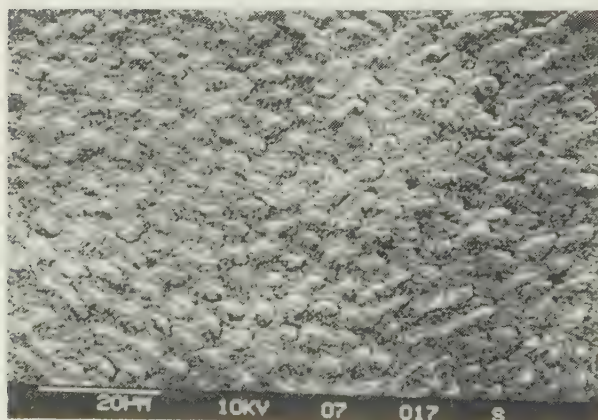


Abb. 13: NO + Sp + Z + Ä + F. Ätzmuster vom peripheren Typ. In der Mitte ein Areal mit nur geringer Auflösung und uncharakteristischen Ätzmustern.



Abb. 14: NO + Sp + Z + F + Z + Ä + V. Die Grenzschicht Versiegler - Schmelz mit einem randdichten Abschluß und günstigem Benetzungswinkel ist klar erkennbar.

b) Beschliffene Zahnoberfläche (Abb. 15 - 24)

Die beschliffene Zahnoberfläche ist plan; der gewellte Verlauf, der bei der natürlichen Oberfläche beobachtet wurde, ist durch das Beschleifen eingeebnet worden. Es sind Kratzspuren und Detritusreste des Schleifmittels sichtbar (Abb. 15).

Eine Fluoridierung mit unterschiedlichen Fluoridierungsmitteln führt im allgemeinen zu keinen sichtbaren Belagsbildungen (Abb. 16). Auch hier kann man vereinzelt inselförmig ausgebildete Belagsbildungen erkennen (Abb. 17).

Das Ätzmuster zeigt hier andere Ätzbilder, als dies bei den natürlichen Schmelzoberflächen der Fall war. Der Substanzverlust durch das Beschleifen beträgt in etwa 0,2 bis 0,5 mm.

Die Schlepprismen verlaufen schräg zur Oberfläche. Die durch den Ätzvorgang hervorgerufenen Strukturveränderungen sind stärker ausgeprägt. Nadelartige Fortsätze stehen aus den Prismen heraus; die Prismenenden sind zum Teil aufgefiedert (Abb. 18).

Man kann Ateale beobachten, in denen die Auflösungserscheinungen im Schmelz unterschiedlich ausgeprägt sind; es kommt zu schlierenartig angeordneten erhabenen Streifen, die wie Seisketten aussehen (Abb. 19), oder aber Gebiete mit abgestufter Ätzwirkung, vom mäßig ausgeprägten Ätzmuster bis hin zu fast völlig ätzmusterfreien Anteilen (Abb. 20).

Eine Beeinflussung des Ätzmusters durch Fluoridierungsmittel konnte - auch hier - nicht festgestellt werden. Die Versiegler zeigen ebenfalls einen randdichten Abschluß und einen günstigen Benetzungswinkel am Schmelz (Abb. 21).

Abb. 22 zeigt eine Probe nach dem Abriß. Der Abriß erfolgte zum Teil im Material, zum Teil an der Schmelzoberfläche. Die Schmelzoberfläche zeigt ein klares, gut ausgeprägtes Ätzmuster (Abb. 23).

Untersucht man die Unterseite des Versieglers nach dem Abriß, so ist die Zottenbildung (tags) mit dem Negativbild des Ätzmusters klar erkennbar.

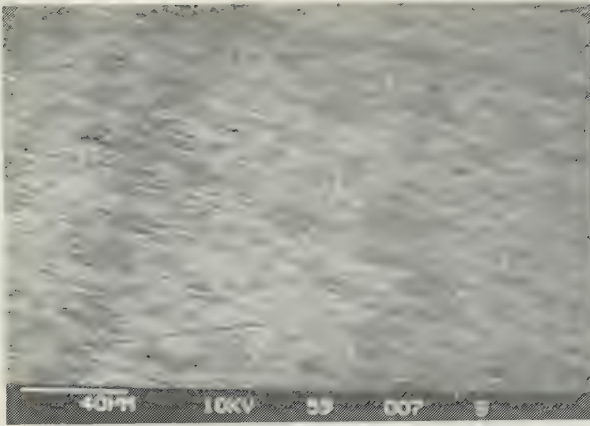


Abb. 15: BeO + Z. Kratzspuren und Detritusreste.

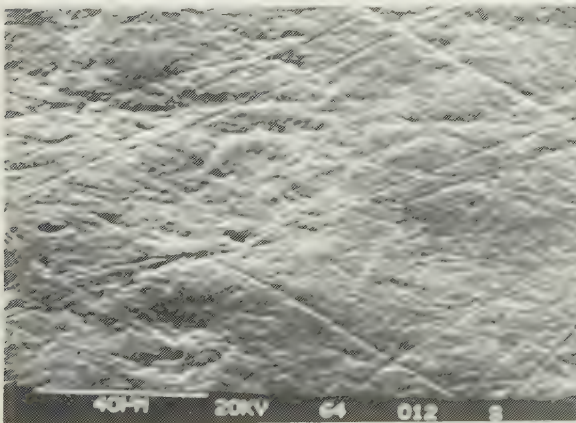


Abb. 16: BeO + Sp + Z + F. Kratzspuren. keine sichtbaren Belags-
bildungen.

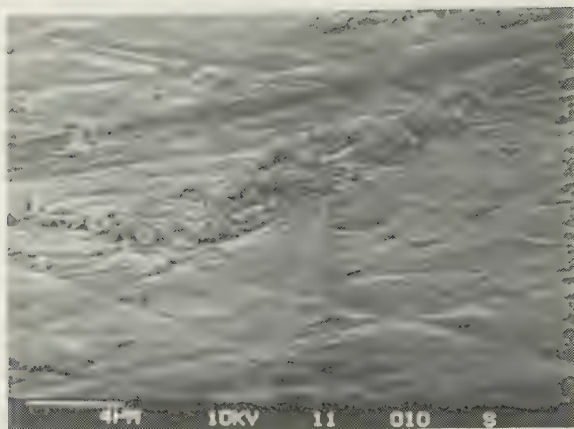


Abb. 17: $\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{F}$. Vereinzelte, inselförmig ausgebildete mikroglobuläre Belagsbildungen.

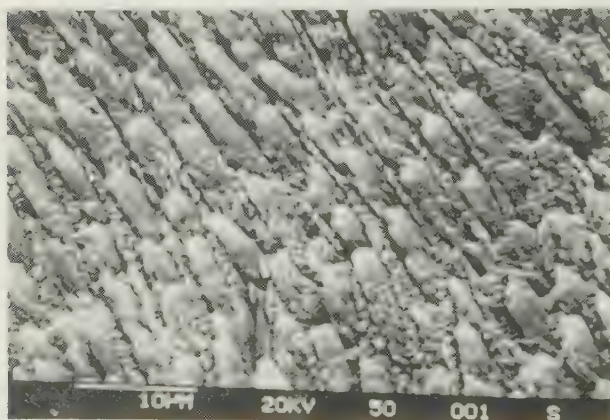


Abb. 18: $\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä}$. Peripheres Ätzmuster mit nachdelförmig ausgebildeten Prismen. Die Prismenenden sind zum Teil aufgefiedert.

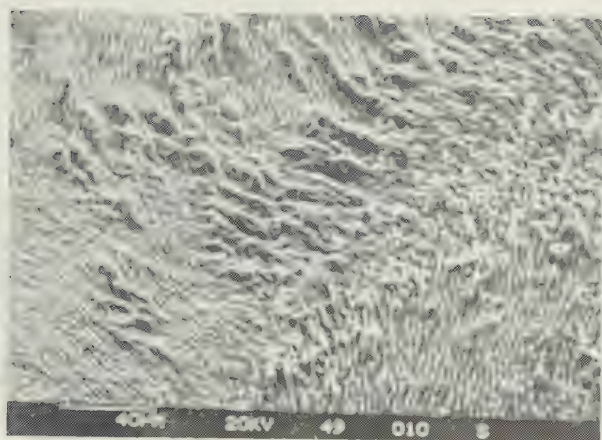


Abb. 19: $\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{K}$. Ätzmuster mit unterschiedlich ausgeprägten Auflösungserscheinungen. Es sind schlierenartig angeordnete, erhabene Streifen erkennbar, die wie Bergketten

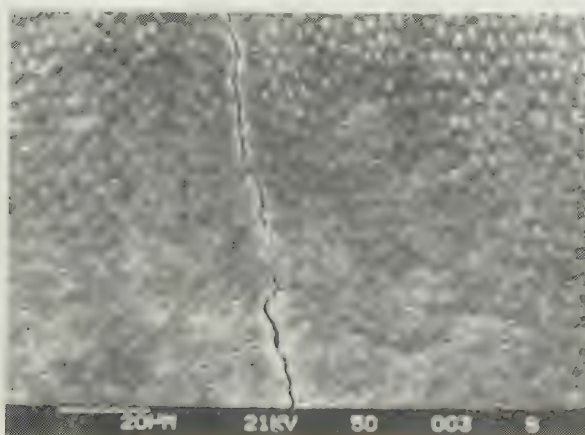


Abb. 20: $\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{K} + \text{F}$. Abgestufte Ätzwirkung, mit mäßig ausgeprägtem Ätzmuster vom peripheren Typ, im oberen Bildabschnitt und fast völlig ätzmusterfreie Anteile im unteren Bildabschnitt.

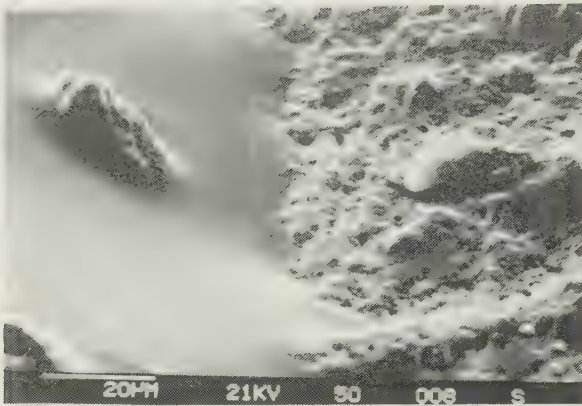


Abb. 21: $\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{X} + \text{F} + \text{V}$. Die Grenzschicht Versiegler - Schmelz mit einem randdichten Abschluß und günstigem Benetzungswinkel ist klar erkennbar.

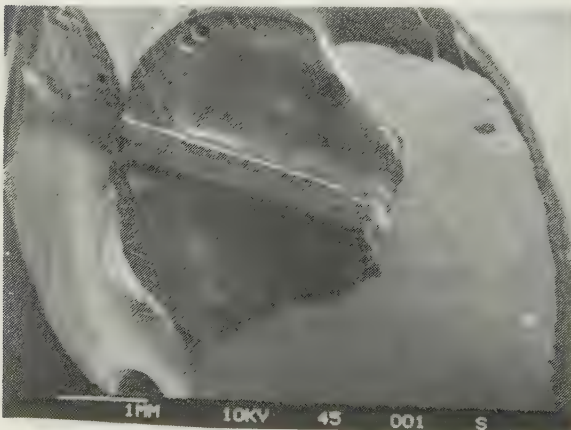


Abb. 22: $\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{F} + \text{Z} + \text{X} + \text{V}$. Probe nach dem Abriß. Der Abriß erfolgte zum Teil im Material, zum Teil an der Schmelzoberfläche. Rechts ist streifenförmig der Probenrand erkennbar, daneben die Schmelzoberfläche. Links im Bild die Abrißstelle im Material.

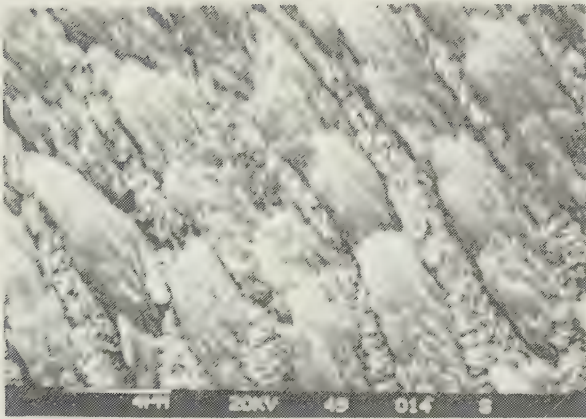


Abb. 23: BeO + Sp + Z + F + Z + K + V. Stark vergrößerter Ausschnitt der Schmelzoberfläche aus Abb. 22. Das Ätzmuster vom peripheren Typ ist gut ausgebildet. Die aufgefiederten Prismenenden sind gut erkennbar.

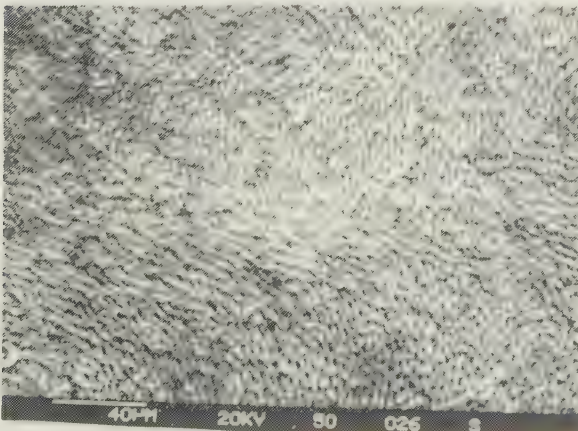


Abb. 24: Unterseite des Versieglers nach dem Abriß. Die Zottenbildungen, die dem Negativbild des Ätzmusters entsprechen, sind gut erkennbar.

4. DISKUSSION

4.1. Haftfestigkeit

Eine Beurteilung der ermittelten Haftwerte zeigt, daß diese in ihrer Größenordnung recht unterschiedlich sind. Auffällig ist die große Streubreite, die bei allen Versuchsanordnungen beobachtet wurde, eine Feststellung, die auch von anderen Autoren gemacht wurde. Ebenfalls eine sehr wichtige Feststellung, die sich bei der Durchsicht der einschlägigen Literatur ergab und die hier gleich eingangs erwähnt werden soll, ist die, daß aus klinischer Sicht die minimale Haftfestigkeit für Versiegler am Schmelz bisher noch nicht definiert worden ist. Diese Tatsache macht es auch schwierig, eine Beurteilung der einzelnen Versiegler bzw. deren klinische Indikation abzugeben.

Die starke Streuung der Meßwerte wie auch die oben gemachte Feststellung machen einen Vergleich mit den von anderen Autoren erzielten Haftwerten schwierig bzw. stellen ihn sogar in Frage, da es für diesen Vergleich bisher noch keine Ausgangsbasis gibt.

Bei der Versuchsdurchführung sind eine ganze Reihe von Fehlerquellen oder Ungenauigkeiten möglich, die teilweise durch genaues Arbeiten bzw. durch kleine Hilfskonstruktionen zu umgehen sind. Eine Übersicht über die möglichen Fehlerquellen gibt die von KESSLER (42) und KOPS (46) zusammengestellte Tabelle 19.

UNTERSCHIEDLICHE HAFTUNG BEDINGT DURCH:

1. Zahnbeschaffenheit

- unterschiedliche Ätzwirkung
 - ungenügende Trocknung
 - verschmutzte Oberfläche
 - unterschiedliche Schmelzschichttiefe
-

2. Probenherstellung

- inhomogen gemischter Kunststoff
 - bei UV-Materialien ungenügende Polymerisationszeit
 - Abheben des Ringes beim Einfüllen des Kunststoffes
 - Schraube nicht senkrecht einpolymerisiert
 - Schraube nicht in der Mitte des Ringes
 - zu große Schichtdicke zwischen Schmelz und Schraube
 - überquellender Kunststoff an der Ringunterkante
-

3. Zugversuch

- fehlerhafte Bedienung der Prüfmaschine
 - Abscheren der Proben beim Anziehen der Klemmbacken
-

Tab. 19: Fehlermöglichkeiten beim Abzugsversuch, modifiziert nach
KESSLER (42) und KOPS (46).

Aufgrund der zahlreichen Faktoren, die die Haftfestigkeit beeinflussen können, kann behauptet werden, daß ein einheitlicher Versuchsaufbau, der immer dieselben Versuchsbedingungen und Voraussetzungen schafft, realistisch gesehen nicht realisierbar ist. Man kann dabei zwei große Ursachenkomplexe unterscheiden:

- Zum einen das biologische Material, das auch bei demselben Individuum stark variiert, ja sogar am gleichen Zahn kann man z.B. unterschiedliche Ätzbilder, die einen nicht geringen Einfluß auf das Haftvermögen

der Versiegler am Schmelz haben, beobachten.

- Zum anderen wäre hier der technische Faktorenkomplex zu erwähnen, der den ganzen Versuchsaufbau mit all den kleinen, sich summierenden Fehlermöglichkeiten beinhaltet.

Es wäre denkbar, daß man - bedingt durch die vielen Faktoren, die die Haftfestigkeit beeinflussen und die oft kaum oder nur schwer zu beherrschen sind, wie:

- Schmelzstruktur und Ätzmuster
- auftretende Abscherkräfte
- materialbedingte Fehler
- versuchsbedingte Fehler

bei einer Wiederholung der Versuche zu etwas geänderten Resultaten kommen könnten, die aber insgesamt gesehen zu den gleichen Aussagen führen würden. Andererseits kann aber mit Bestimmtheit gesagt werden, daß die ermittelten Werte unter den realen Haftwerten liegen und daß die doch eindeutigen Resultate eine klare Aussage zulassen.

1. Größe der Haftfestigkeit

Eine Analyse der ermittelten Haftwerte der einzelnen Versuchsreihen zeigt deutlich, daß eine Fluoridierung vor dem Anätzen zu den höchsten Haftwerten führt. Die mittleren Haftwerte vorfluoridierter Proben, die 24 Stunden im Wasser gelagert wurden, liegen bei 4 bis 6 N/mm^2 . Die höchsten mittleren Haftwerte wurden für Delton ($8,46 \text{ N/mm}^2$) und Nuva Seal ($9,1 \text{ N/mm}^2$) gefunden. Die kleinsten Werte wurden für Contact Seal festgestellt, sie liegen zwischen 1,8 und $3,9 \text{ N/mm}^2$.

Nichtfluoridierte Proben zeigen, mit Ausnahme von Delton, kleinere Haftwerte. Sie liegen im Durchschnitt zwischen 2 und 4 N/mm² und entsprechen somit in etwa den kleinsten Werten, die bei einer Vorfluoridierung festzustellen waren.

Bei Plura Seal führt eine Vorfluoridierung zu einer deutlich besseren Haftung, die Werte liegen um 3 bis 6,7 N/mm² höher als bei den nichtfluoridierten Proben. Mit Duraphat wurden zwar die im Durchschnitt höchsten Mittelwerte erzielt, die Unterschiede sind aber nicht so groß, daß man beim Einsatz der verschiedenen Fluoridierungsmittel von signifikanten Unterschieden sprechen kann.

Um den so wichtigen Einfluß des Mundmilieus (Feuchtigkeit) auf die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz zu prüfen, wurden die Proben der 3. Versuchsreihe für sechs Wochen ins Wasser gelegt. Dabei wurde der überhaupt höchste Absolutwert von 14 N/mm² als auch der höchste Mittelwert von 9,19 N/mm² ermittelt.

Höchstwerte wurden auch, mit Ausnahme der Kombination Duraphat - Delton, für die mittlere Haftfestigkeit aller fluoridierter und nichtfluoridierter Proben festgestellt. Zu den gleichen Resultaten kamen auch LASWELL (47), LEE (48), DIEDERICH (22) und KOPS (46) in ihren Versuchen.

Eine Untersuchung des Einflusses einer noch längeren Wasserlagerung bzw. den Einfluß des Mundmilieus auf die Haftfestigkeit der Versiegler fällt in den Bereich klinischer Untersuchungen, wie sie von MOHR (63), IHLOW (41) und HEISSE (35) durchgeführt wurden. LOW (54) und LEE (48) untersuchten ebenfalls den Einfluß einer

vor dem Anätzen durchgeführten Fluoridierung, auf die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz. Sie stellten dabei fest, daß die Haftfestigkeit nachläßt. Die Ursache für die bessere Haftung bei vorfluoridierten Proben ist in dieser Arbeit nicht untersucht worden. Es wird aber angenommen, daß es - bedingt durch die Fluoridierung und der damit erreichten Resistenzsteigerung des Schmelzes gegenüber der Säurewirkung - zu einem im R.E.M. nicht erkennbaren Änderung des Ätzmusters kommt.

Die Konditionierung führt neben einem irreversiblen Schmelzverlust von $\approx 5 \mu\text{m}$ zu Strukturveränderungen des Schmelzes, die bis zu $150 \mu\text{m}$ reichen. Es bildet sich ein Ätzmuster, das sowohl in seiner Ausprägung als auch im Ätztyp stark variieren kann. Im R.E.M. sind nur oberflächliche Strukturveränderungen erkennbar. Es wird angenommen, daß nach einer Fluoridierung das Ätzmuster weniger filigranartig ist und in seiner Auflösung nicht so weit reicht, so daß die aufgelockerte, oberflächliche Schmelzschicht bei einem Abriß resistenter ist.

Als Vergleich könnte man eine Tapete anführen, die von einer Wand abgerissen werden soll. Ist der Untergrund, auf dem die Tapete klebt, resistenter bzw. widerstandsfähiger, wird man mehr Kraft benötigen, um sie abzureißen.

DIEDERICH (22) hat in seinen Versuchen festgestellt, daß der Versiegler nicht nur oberflächliche Strukturen ausfüllt, sondern weit in die Spalträume hineinreicht und selbst feinste Kristallporositäten erfaßt. Er zeigt, daß die sichtbaren, oberflächlichen Ätzstrukturen nur einen Bruchteil der wirklichen Retentions-

flächen darstellen. Die eindeutig höheren Haftwerte, die bei einer Fluoridierung vor dem Anätzen mit lokal applizierten Fluoridierungsmitteln erzielt wurden, lassen die Vermutung zu, daß auch andere Fluoridierungsmethoden, wie z.B. die Trinkwasserfluoridierung oder fluorhaltige Zahnpasten, die zu einem erhöhten F-Gehalt im Schmelz führen, den gleichen Effekt haben müssen. Eine Fluoridierung nach dem Anätzen führt im Vergleich zu nichtfluoridierten und vorfluoridierten Proben zu einem signifikanten Rückgang des Haftvermögens am Schmelz.

Die mittleren Haftwerte liegen zwischen 0,7 und 2,4 N/mm², LOW (54), LEE (48), GWINNETT et al. (33) konnten in ihren Versuchen ebenfalls feststellen, daß eine Fluoridierung nach dem Anätzen einen negativen Einfluß auf die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz hat, während HOTZ (38) diesbezüglich keinen oder kaum einen Einfluß feststellen konnte.

Es sei hier noch einmal erwähnt, daß die Versiegelung eine kariesprophylaktische Maßnahme ist, bei der der Transport kariogener Noxen in die Zahnhartsubstanz unterbunden wird und das kariöse Geschehen unmöglich gemacht wird.

Eine Fluoridierung nach dem Anätzen, wie sie als kariesprophylaktische Maßnahme immer wieder empfohlen wird, ist also aus kariesprophylaktischer Sicht gar nicht nötig. Sie führt außerdem zu einem signifikanten Rückgang des Haftvermögens des Versieglers. Die Ursache für die schlechtere Haftung der Versiegler am Schmelz bei einer nach dem Anätzen durchgeführten Fluoridierung wurde in dieser Arbeit ebenfalls nicht untersucht.

Es wird aber angenommen, daß es zur Bildung von schwer löslichen Präzipitaten kommt, die im R.E.M. nicht sichtbar sind und die von LEE (48), REINHARDT u. VAHL (79), NEWSELY (69) und CHOW (16) beschrieben wurden.

Die Festigkeit dieser Verbindungen in sich und mit dem Schmelz ist insgesamt gesehen kleiner als die Festigkeit des oberflächlichen, angeätzten Schmelzgefüges. Beim Versiegeln werden diese Präzipitate von der Versieglermasse bedeckt und lösen sich bei einer Zugbeanspruchung entsprechend schneller und leichter.

2. Bewertung des Abrißortes

Eine Bestandsaufnahme der Abrißorte läßt erkennen, daß es nicht ausschließlich zu einem Ablösen der Proben vom Schmelz kommt. Man kann drei verschiedene Abrißorte erkennen, die in den Tabellen 14 und 15 bis 18 angeführt werden.

Bei einem Bruch im Material kann es sich um einen versuchsbedingten Fehler handeln, wenn der Abriß am Schraubenkopf stattfindet. Durch die einpolymerisierte Schraube wird der Kunststoffzylinder in diesem Querschnittsbereich geschwächt.

Auch BOWEN (5, 6) und KOPS (46) erwähnen solche Brüche, die trotz mehrfacher Änderung der Versuchsanordnung nicht verhindert werden konnten. Brüche des Kunststoffzylinders in sich sind materialbedingt. Die Festigkeit des Kunststoffes in sich liegt hier unter der Haftfestigkeit am Schmelz, bei Zugbeanspruchung reißt das Material auseinander.

Die recht unterschiedlichen Werte, wie sie bei Brüchen im Material für ein und dieselbe Probe zu verzeichnen sind, lassen darauf schließen, daß neben den materialbedingten Faktor auch noch versuchsbedingte Faktoren hinzutreten, wie z.B. das Auftreten von Scherkräften bei einem nicht exakt senkrechten Angriff der Zugkraft.

Ein Abriß zum Teil am Schmelz, zum Teil im Material soll nach KOPS (46) auf ungünstige Schmelzstrukturen, die an dieser Stelle auftreten, zurückzuführen sein. Es kommt dabei zunächst zu einem Ablösen des Versieglers von der Schmelzoberfläche, die verbliebene Klebefläche wird dadurch kleiner, die angreifenden Kräfte selbst werden aber größer; es treten auch Scherkräfte auf, es kommt zum Materialbruch.

Mit den angeführten Erläuterungen könnte man zum Teil auch die Ursachen für die doch recht unterschiedlichen Haftwerte, die von den einzelnen Autoren angegeben werden, erklären. Insbesondere gilt dies für die von allen Autoren angegebene große Streubreite der Werte.

Bei den Abrißversuchen wurden die höchsten Werte bei Abrissen im Material erzielt. Diese Werte sind keine Haftwerte, sie entsprechen der Zerreißfestigkeit des Materials. Die höchste Zerreißfestigkeit wurde für Nuva Seal und Delton festgestellt.

KOLMANNSPERGER u. VIOHL (45) haben für solche Materialien eine hohe Biegefestigkeit festgestellt, es sind steife Materialien. Die kleinste Zerreißfestigkeit war bei Contact Seal festzustellen, es ist ein sprödes Material. Diese Werte wurden in die Berechnung der Mittelwerte miteinbezogen, da sie genau gesehen unter den eigentlichen Haftwerten liegen.

Man kann davon ausgehen, daß die Festigkeit des Materials bei günstiger Schmelzstruktur und korrekt durchgeführter Versiegelung als der begrenzende Faktor für die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz anzusehen ist.

4.2. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

PANTKE et al. (73) haben gezeigt, daß der Schmelz von Rinderzähnen die gleichen Strukturen wie der menschliche Schmelz aufweisen. Durch den Ätzvorgang entstehen in beiden Schmelzarten ähnliche Muster. Die am Rinderschmelz ermittelten Haftwerte lassen sich mit großer Wahrscheinlichkeit auch auf menschliche Zähne übertragen.

Durch den Ätzvorgang sind die von SILVERSTONE (90), BUONOCORE (14) und DIEDERICH (22) angegebenen Ätzmustertypen an unbeschliffenen und beschliffenen Zahnoberflächen bestätigt worden (Abb. 13, 18, 20, 23). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen ebenfalls die Angaben von ABENDROTH (2), LUTZ et al. (58), SILVERSTONE (90), daß mit H_3PO_4 verschiedene Ätzmuster erzeugt werden können. Dabei wechseln die Ätzbilder innerhalb einer Zahnfläche (Abb. 13, 19, 20) und von Zahn zu Zahn stark, Ätztyp und Ätztiefe ändern sich.

DIEDERICH (22) zeigt, daß man von keinem spezifischen säurebedingten Ätzverhalten des Schmelzes ausgehen kann. Zentrale, periphere und uncharakteristische Ätzmuster wie auch ätzmusterfreie Areale können unmittelbar nebeneinander auftreten. Als Ursache für dies unterschiedliche Verhalten wird angegeben:

- lokal unterschiedliche Zusammensetzung des Schmelzes
- unterschiedliche Orientierung der Apatitkristalle in-

nerhalb der Prismen

- Anisotropie der chemischen Reaktion der einzelnen Apatitkristalle
- unterschiedliche Verteilung der anorganischen und organischen Schmelzbestandteile

Die im R.E.M. erhaltenen Oberflächenaufnahmen von geätztem Schmelz machen deutlich, daß es zu der von BUONOCORE (14) angegebenen Oberflächenvergrößerung kommt. Die Haftung der Versiegler am geätzten Schmelz ist aufgrund dieser Tatsachen hauptsächlich auf verbesserte mechanische Retentionsmöglichkeiten zurückzuführen.

Andererseits ist ebenfalls festzuhalten, daß das unterschiedliche Ätzverhalten des Schmelzes auch einen Einfluß auf das Haftvermögen der Versiegler am Schmelz haben muß und somit auch die unterschiedlichen Haftwerte miterklärt.

Eine Fluoridierung führt generell - egal ob vor oder nach dem Anätzen durchgeführt - zu keinen, im R.E.M. sichtbaren Belägen, wie dies auch von REINHARDT u. VAHL (79) sowie CHOW (16) angegeben wurde (Abb. 9, 16). Es kann aber auch zu inselförmig ausgebildeten mikroglobulären Belägen kommen (Abb. 10, 17), die aber insgesamt gesehen einen nur kleinen Anteil von ungefähr 5 % der Gesamtfläche ausmachen und nie als durchgehende Deckschicht beobachtet wurden, wie dies von anderen Autoren beschrieben wurde (MÜHLEMANN (65), GWINNETT et al. (32), WEI u. STEPHEN (95)).

Bei einer gründlichen Spülung nach dem Fluoridieren (60 Sekunden), wie sie auch von REINHARDT und VAHL (79) verlangt wird, sind gar keine Beläge mehr sichtbar, während bei einer nur kurzen Spülung (5 Sekunden) es zur Ausbildung krustenförmiger Beläge kommt (Abb. 11).

4.3. Klinische Hinweise

Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß eine Fluoridierung vor dem Anätzen und damit eine Fluoranreicherung im Schmelz zu einer besseren Haftung der Versiegler am Schmelz führt. Besonders auffällig ist diese Beobachtung bei Plura Seal und Contact Seal. Hier wird mit Ausnahme der Kombination Contact-Seal - Fluor Gel eine vor dem Anätzen durchgeführte Fluoridierung empfohlen.

Bei den anderen Versiegleren ist eine vorherige Fluoridierung nicht als unbedingt notwendig anzusehen, da die ohne Fluoridierung erzielten Haftwerte zwischen 2,5 und 4,8 N/mm² liegen und damit unserer Ansicht nach den klinischen Anforderungen genügen. Eine Fluoridierung vor dem Anätzen, egal ob durch Touchierung, Trinkwasserfluoridierung oder mit fluorhaltigen Zahnpasten durchgeführt, stellt somit keine Kontraindikation für eine Versiegelung dar, sondern führt im Gegenteil zu einer besseren Haftung.

Eine Fluoridierung nach dem Anätzen führt zu einem signifikanten Rückgang des Haftvermögens der Versiegler am Schmelz. Die mittleren Haftwerte liegen zwischen 0,76 und 2,4 N/mm² und entsprechen unserer Meinung nach nicht den klinischen Anforderungen, obwohl - wie schon erwähnt - der kritische Haftwert bisher noch nicht definiert worden ist.

Auch ist eine Fluoridierung nach dem Anätzen in diesem Fall nicht als kariesprophylaktische Maßnahme anzusehen, daß die Versiegelung den Transport kariogener Noxen in die Zahnhartsubstanz verhindert.

5. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird die Haftfestigkeit von sieben Versiegeln, drei selbsthärtenden und vier photopolymerisierenden, am Rinderschmelz und deren Beeinflussbarkeit durch eine Fluoridierung mit fünf Fluoridierungsmitteln untersucht.

Nachdem in den Vorversuchen ein geeigneter Versuchsaufbau gefunden worden ist, wird in vier Versuchsreihen festgestellt, ob eine Fluoridierung vor oder nach dem Anätzen bzw. eine sechswöchige Wasserlagerung einen Einfluß auf die Haftfestigkeit der Versiegler am Schmelz hat. Als Vergleichsbasis dienen die nichtfluoridierten Proben der zweiten Versuchsreihe. Die Zähne werden an der labialen Fläche beschliffen. Als Ergänzung zu den Haftversuchen werden R.E.M.-Untersuchungen durchgeführt. Die Hauptversuche zeigen nach einer Analyse folgende Ergebnisse:

- Eine Fluoridierung vor dem Anätzen führt mit Ausnahme von Delton im Vergleich zu den nichtfluoridierten Proben zu einer besseren Haftung.
- Besonders stark ist diese Tendenz bei Contact Seal und Plura Seal zu beobachten.
- Die Haftwerte liegen bei den vorfluoridierten Proben im Durchschnitt bei 4 bis 6 N/mm², bei den nichtfluoridierten Proben bei etwa 2,8 N/mm².
- Bei einer sechswöchigen Wasserlagerung ist mit Ausnahme der Kombination Duraphat - Delton im Vergleich zu den Proben, die nur 24 Stunden im Wasser lagerten, eine bessere Haftung zu verzeichnen. Dieser Trend ist bei den nichtfluoridierten Proben nicht so stark ausgeprägt wie bei den vorfluoridierten Proben.

- Bei den Abrißversuchen wurde festgestellt, daß es nicht nur zu einer Lösung an der Klebefläche kommt, sondern daß auch andere Abrißmöglichkeiten auftreten, wobei 37,3 % der Abrisse am Zahn, 33,6 % der Abrisse im Material und 29,1 % der Abrisse zum Teil im Material, zum Teil am Zahn zu verzeichnen sind.
- Bei den erzielten Maximalwerten erfolgte der Abriß fast ausschließlich im Material.
- Die höchste Zerreißfestigkeit wurde für Nuva Seal und Delton festgestellt; die niedrigste für Contact Seal.
- Die Streubreite der Haftwerte variiert stark; sie liegt im Durchschnitt bei 3 bis 5 N/mm² und verläuft weitgehend parallel zu den Mittelwerten.
- Eine Fluoridierung nach dem Anätzen führt im Vergleich zu den nichtfluoridierten und vorfluoridierten Proben zu einem signifikanten Rückgang des Haftvermögens der Versiegler am Schmelz. Die mittlere Haftfestigkeitswerte liegen hier zwischen 0,76 und 2,4 N/mm².
- Die Abrißorte liegen bei einer Fluoridierung nach dem Anätzen ausschließlich am Zahn.
- R.E.M.-Untersuchungen zeigen, daß
 - o der Ätzzvorgang sehr unterschiedliche und nicht beeinflussbare Ätzbilder hervorruft,
 - o die Ätzwirkung bei beschliffenen Zahnoberflächen stärker ausgeprägt ist,
 - o eine Fluoridierung, egal ob vor oder nach dem Anätzen durchgeführt, generell zu keiner sichtbaren Belagsbildung führt. Isoliert treten inselförmig ausgebildete, mikroglobuläre Beläge auf.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- (1) AASENDEN, A./
BRUDERVOLD, F./
McCANN, H.G. : The response of intact and experimentally altered human enamel to topical fluoride.
Arch. oral. Biol. 13 I (1968)
S. 543 - 552.
- (2) ABENDROTH, R./
BÖSSMANN, K. : Variation der Ätzmuster an Schmelzoberflächen nach Behandlung mit verschiedenen Ätzmitteln.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 34 (1979), S. 181 - 184.
- (3) ALBERT, M./
GRENOBLE, D.E. : An in vivo study of enamel remineralisation after acid etching.
J.S. Calif. dent. Ass. 39 (1971) S. 747.
- (4) ARENDS, I./
SCHUTHOF, I. : Fluoride content in Human Enamel after Fluoride Application and Washing - an in vitro study.
Caries Res. 9 (1975) S. 363.
- (5) BOWEN, R.L. : Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissue.
I. Method of determining bond strength.
J. dent. Res. 44 (1965) S. 690 - 695.
- (6) BOWEN, R.L. : Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissue.
IV. Bonding to dentin, enamel and fluorapatite improved by the use of a surface active comonomer.
J. dent. Res. 44 (1965), S. 895 - 911.
- (7) BRAUER, G.M./
TERMINI, D.I. : Bonding of bovine enamel to restorative resin. Effect of pretreatment of enamel.
J. dent. Res. 51 (1971)
S. 151.

- (8) BREUSTEDT, A./
TAPPE, A. : Über die Vereinigung von Schmelz
bzw. Dentin mit adhäsiven Ma-
terialien.
Stoma. DDR 24 H. 2 (1974)
S. 152; 24 H. 3 (1974) S. 207.
- (9) BUONOCORE, M.G. : A simple method of increasing
the adhesion of acrylic filling
materials to enamel surfaces.
J. dent. Res. 34 (1955) S. 849.
- (10) BUONOCORE, M.G./
WILLMAN, W./
BRUDEVOLD, F. : A report on a resin composition
capable of bonding to human
dentin surfaces.
J. dent. Res. 35 (1956) S. 846 -
851.
- (11) BUONOCORE, M.G./
MATSUI A./
GWINNETT, A.J. : Penetration of resin dental
materials into enamel surfaces
with reference to bonding.
Arch. oral. Biol. 13 (1968)
S. 61 - 70.
- (12) BUONOCORE, M.G./
GWINNETT, A.J. : Adhesives and caries preven-
tion.
Brit. dent. J. 119 (1965) S. 77 -
80.
- (13) BUONOCORE, M.G. : Caries prevention in pits and
fissures sealed with an adhesive
resine polymerized by ultravio-
lett light.
J. Americ. dent. Ass. 82 (1971)
S. 1090.
- (14) BUONOCORE, M.G. : Principles of adhesive reten-
tion and adhesive restorative
materials.
J. Am. dent. Ass, 67 (1963),
S. 382 - 391.
- (15) CASTAGNOLA, L./
WIRZ, J./
GARBEROGLIO, R. : Die Schmelzätzung in der kon-
servierenden Zahnheilkunde I.
Quintess. Zahnärztl. Lit.
28 (1977) H. 1 - 29 - 32, Ref.-
Nr. 5556.
- (16) CHOW, L.C./
BROWN, W.E. : Topical fluoridation of teeth
before sealant application.
J. dent. Res. 54 (1975) S. 1089.

- (17) COOVER, H.W.

: Chemistry and performance of cyanoacrylate adhesives.
Soc. Plastic Engen. J. 15 (1959) S. 13.
- (18) CUETO, E.J./
BUONOCORE, M.G.

: Sealing of pits and fissures with an adhesive resin.
J. Americ.dent. Ass. 75 (1967) S. 121.
- (19) DE PAOLA, P.F./
JOHNSON, N.W.

: The effects of different demineralizing agents on human enamel surfaces studied by scanning electron microscopy.
Arch. oral Biol. 12, S. 1612.
- (20) De PAOLA, P.F.

: The application of acidulated phosphate fluoride preceding mild enamel etching.
J. dent. Res. 53, Abstr.-Nr. 149.
- (21) DE PAOLA, P.F.

: The use of topically applied acidulated phosphate fluoride preceded by mild etching of the enamel.
Arch. oral Biol. 16 (1971) S. 1155.
- (22) DIEDERICH, P.

: Die Bracket-adhäsivtechnik, *Habil.-schrift, Med.Fak. Düsseldorf* 1979.
- (23) DOGON, J.L.

: In vitro studies on resin adhesion to teeth for fluoride "sealing".
I. A.D.R. Marketing, Abstr. 550 (1969).
- (24) EDELL, G.T. et al.

: Evaluation of a tensile test for direct filling resins.
J. dent. Res. 49, S. 428.
- (25) EICK, J.D.

: Surface topography - its influence on wetting and adhesion in a dental adhesive system.
J. dent Res. 51, S. 780.
- (26) ERICSON, S.Y.

: Cariostatic mechanism of fluorides, clinical observations.
Caries Res. 11, Supply 1, S. 2 - 33.

- (27) FRANK, E. et al. : Essai clinique de prevention de la carie dentaire pour scellement des fissures.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 81, S. 543.
- (28) GORE, J.T. : Etiology of Dental caries. Enamel Immunization Experiments.
J. Amer. dent. Ass. 26 (1939)
S. 958.
- (29) GWINNETT, A.J./ : A study of enamel adhesives.
MATSUI, A. The physical relationship between enamel and adhesive.
Arch. oral Biol. 12 (1967)
S. 1615 - 1620.
- (30) GWINNETT, A.J./ : Penetration of resin dental
BUONOCORE, M.G./ materials into enamel surfaces
MATSUI, A. with reference to bounding.
Arch. oral. Biol. 13 (1968)
S. 61 - 70.
- (31) GWINNETT, A.J. : Histologic changes in human enamel following treatment with acidic adhesive conditioning agents.
Arch. oral Biol. 16 (1971)
S. 731.
- (32) GWINNETT, A.J./ : Effect of fluoride on etched
BUONOCORE, M.G./ human and bovine tooth enamel
SHEYKHOLESHAM, Z. surfaces as demonstrated by scanning electron microscopy.
Arch. oral. Biol. 17 (1972)
S. 271.
- (33) GWINNETT, A.J./ : Effect of fluoride on the
BUONOCORE, M.G./ bounding of resins to phosphoric
SHEYKHOLESHAM, Z. acid-etched bovine enamel.
Arch. oral. Biol. 17 (1972)
S. 1037.
- (34) GWINNETT, A.J. : Human prismless enamel and its influence on sealant penetration.
Arch. oral Biol. 18 (1973)
S. 441.
- (35) HEISSE, M. : Med. Diss. FU Berlin, erscheint demnächst (pers. Mitteilung).

- (36) HÖFIG, W. : Dokumentation und Statistik klinischer Befunde und Behandlungen auf dem Gebiet der Zahnerhaltung.
Med. Diss. 1968, Erlangen.
- (37) HOTZ, P. : Die Adhäsiv-Versiegelung.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 82 (1972), S. 1232.
- (38) HOTZ, P. : Der Einfluß von Fluoriden auf die Haftung von Versiegeln auf angeätztem Schmelz.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 85 (1977), S. 1030.
- (39) HYATT, T.P. : Prophylactic odontomy.
Dent. car. 65 (1928) S. 234.
- (40) IBSEN, R.L. : Non operative treatment for gingival erosion.
Dent. survey 48 (1972).
- (41) IHLOW, D. : Klinische Untersuchungen verschiedener Versiegelungsmaterialien zur kariesprophylaktischen Versiegelung von Fissuren und Verhinderung undichter Füllungs-ränder unter besonderer Berücksichtigung des Zeit- und Kostenfaktors.
Med. Diss. 1980, FU Berlin.
- (42) KESSLER, F. : Versuche über die Haftfestigkeit verschiedener Cyanoacrylsäure-ester am Schmelz von Rinderzähnen.
Med. Diss. 1974, FU Berlin.
- (43) KLIMEK, J. : Fluoridaufnahme künstlicher kariöser Initiailläsionen nach Behandlung mit verschiedenen Fluoridverbindungen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 36, S. 520.
- (44) KOCHAVI, D. : Effect of conditioning with fluoride and phosphoric acid on enamel surfaces as evaluated by scanning electron microscopy and fluoride incorporation.
J. dent. Res. 54 (1975) S. 304.

- (45) KOLLMANNSPERGER, P./ : Biegebruchfestigkeit von Füll-
VIOHL, J. lungskunststoffen in Abhängig-
keit vom Mischungsverhältnis.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 32 (1977) S. 529-532.
- (46) KOPS, Chr. : Haftung von 16 zahnärztlichen
Füllungskunststoffen am Rinder-
zahnschmelz sowie rasterelektro-
nenmikroskopische Oberflächen-
untersuchungen am Schmelz von
Mensch und Rind.
Med. Diss. 1979, FU Berlin.
- (47) LASWELL, H.R. et al. : Attachment of resin restorations
to acid pretreated enamel.
J. Am. dent. Ass. 82 (1971)
S. 558.
- (48) LEE, H. : Sealing of developmental pits
and fissures.
III. Effects of fluoride on
adhesion of rigid and flexible
sealers.
J. dent Res. 51, S. 191.
- (49) LENZ, H./ : In-vivo and in-vitro affects
MÜHLEMANN, H.R. of saline on etched or me-
chanically marked enamel after
certain periods of time.
Helv. odont. Acta 7 (1963) S. 30 -
35.
- (50) LENZ, H./ : Werkstoffkundliche Untersuchun-
VIOHL, J. gen mit einem neuen Kunststoff-
Füllungsmaterial.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 23 (1968) S. 218-224.
- (51) LENZ, H./ : Elektronenmikroskopische Stu-
MÜHLEMANN, H.R./ dien der Oberflächen und der
ROSSINSKEY, K. Tiefen des initialen künstlichen
White-spot.
Schw. M. f. Z. 74, S. 654.
- (52) LENZ, H. : Kariesforschung heute und Ka-
riesprophylaxe.
Öst.Z. Stomat. 9 (1975), S. 310 - 315.
- (53) LENZ, H. : Persönliche Mitteilung (1976).

- (54) LOW, T. : Influence of the Topical Application of the Fluoride on the in vitro Adhesion of Fissure Sealants.
J. dent. Res. 56, S. 17.
- (55) LOW, T. : Fissure Sealant to topical Fluorid-treated Teeth.
J. oral Rehab. 2, S. 303.
- (56) LOW, T. : A Method of Determining the Tensile Bond Strength of Fissure Sealant Materials.
J. oral Rehab. 2, S. 341.
- (57) LUTZ, F. : Die Adhäsivversiegelung.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 78 (1968) S. 134.
- (58) LUTZ, F./
LÜSCHER, B./
MÜHLEMANN, H./
OCHSENBEIN, H. : Adhäsive Zahnheilkunde.
Juris Druck und Verlag Zürich, 1976.
- (59) MARTHALER, Th.M. : Karieshemmung durch Aminfluoridzahnpasten nach 7-jähriger Studiendauer.
Schw. M. f.Z. 78 (1968) S. 134.
- (60) MELBERG, J.R. : Rate of fluoride uptake by surface and subsurface sound enamel from Sodium monofluorophosphate.
Car. Res. 14, S. 50.
- (61) MELBERG, J.R. : Penetration of fluoride from Sodium monofluorophosphate into artificially produced incipient enamel.
Car. Res. 14, S. 115.
- (62) MITCHEM, J.C. : The retentive strength of acid etched retained resins.
J. Amer. dent. Ass. 89 (1974) S. 1107.
- (63) MOHR, H. : Klinische Untersuchungen über die Möglichkeit der Versiegelung ohne vorheriges Anätzen durch Anwendung von Bayer 520^R als Haftvermittler für im Handel befindliche Versiegelungsmaterialien.
Med. Diss. 1979, FU Berlin.

- (64) MÜHLEMANN, H./
LENZ, H. : Electron microscopic appearance
of rehardened enamel.
Helv. odont. Acta 8 (1964) S. 108.
- (65) MÜHLEMANN, H.R. : Physikalisch-chemisches und
mikromorphologisches Verhalten
vom Schmelz nach Behandlung
mit anorganischen und Aminfluor-
riden.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 77 (1967) S. 230.
- (66) MÜHLEMANN, H.R. : Forschung heute - Zahnmedizin
morgen.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 79 (1969) S. 1083.
- (67) NEWESELY, H. : Ist Fluor ein essentieller Spu-
renbestandteil des physiologi-
schen Milieus?
Dtsch. Zahnärztl. Z. 22 (1967) S. 1483.
- (68) NEWESELY, H. : Über die chemische Struktur der
Kunststoffe in der konservie-
renden Zahnheilkunde.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 29 (1974) S. 436.
- (69) NEWESELY, H. : Zur Noxe durch den Ätztvorgang
mit Säuren bei der Schmelzver-
siegelung.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 30 (1975) S. 508.
- (70) NOLDEN, R. : Die Bedeutung der Säuretechnik
für den Verbund von Composite-
Materialien mit den Zahnhart-
substanzen.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 34 (1979) S. 717-722.
- (71) NOLDEN, R. : Ist die Ätztechnik bei Compo-
sites praxisreif?
Zahnärztl. Welt-Reform 85 (1976)
S. 637 - 641.
- (72) OTSUKI, A./
TAKEUCHI, M. : A simple fissure sealant and
its tensile bond strength to
etched bovine enamel.
Caries Res. 10 (1976) S. 463 - 472.
- (73) PANTKE, H./
SCHIENBEIN, H./
SCHMIDT, H.F.M. : Schmelzstrukturen bei den her-
bivoren Rind und Reh.
Dtsch. Zahnärztebl. 25 Nr. 12
(1971) S. 472 - 483.

- (74) PARKHOUSE, R.C./
WINTER, B. : A fissure sealant containing
methyl-cyanoacrylate as a
caries preventive agent.
Brit. dent. J. 130 (5) (1971)
S. 16 - 19.
- (75) PILZ, W. : Die Adhäsivversiegelung der Fis-
suren und Grübchen zur Karies-
prävention.
Stomat. DDR 25, S. 239.
- (76) PILZ, W./
PLATHNER, C.H./
TAATZ, H. : Grundlagen der Kariologie und
Endodontie.
Joh. Ambrosius Verlag, Leipzig,
3. Auflage.
- (77) PILZ, W. : Prinzip und Probleme der Fissu-
renversiegelung.
Dtsch. Stomat. 21, S. 163.
- (78) PRODGER, T.E./
SYMONDS, M. : Aspa adhesion study.
Brit. dent. J. 143 (1977) S. 266.
- (79) REINHARDT, K.J./
VAHL, J. : Oberfläche und Benetzbarkeit
von geätzttem und fluoridiertem
Schmelz.
Dtsch. Zahnärztl. Z. 34 (1979) S. 885.
- (80) RETIEF, D.H. : Failure at the dental adhesive-
etched enamel interface.
J. of oral Rehab. 1, S. 265.
- (81) RHEINWALD, U. : Zahnkaries und Fluoride.
Ein Diskussionsgespräch.
Symposium - Lindau (1973),
A.W. Genter Verlag Stuttgart.
- (82) ROCK, W.P. : The effect of etching of human
enamel upon bond strengths with
fissure sealant resins.
Arch. oral Biol. 19, S. 873.
- (83) ROCK, W.P. : Fissure sealants. Results ob-
tained with two different sealants
after one year.
Brit. dent. J. 133 (1972) S. 146.

- (84) ROYDHOUSE, R.H. : Prevention of acclusal fissure caries by use of a sealant.
J. Dent. child. 35, S. 253.
- (85) ROYDHOUSE, R.H. : Pinhole test for dental adhesion.
J. dent. Res. 47, S. 1087.
- (86) SANDOCK-LADWIG, J. : Polymerisationstiefen zahnärztlicher UV-härtender Füllungsstoffe.
Med. Diss. 1980, FU Berlin.
- (87) SCHMIDT, H.M.F. : Untersuchungen zur Prophylaxe durch örtliche Applikation von NaF unter besonderer Berücksichtigung der Langzeitfluoridierung.
Stoma 22 (1969) S. 216.
- (88) SIEGEL, S. : Nonparametric Statistics for the behavioral sciences.
McGraw, New York 1971.
- (89) SILVERSTONE, L.M. : Fissure sealants.
Caries Res. 8 (1974) S. 2 - 26.
- (90) SILVERSTONE, L.M. et al. : Variations in the pattern of acid etching in human dental enamel examined by scanning electron microscopy.
Caries Res. 9 (1975) S. 373 - 387.
- (91) STÜSSEL, K.W. : Elektronenmikroskopische Oberflächenuntersuchungen am Dentin von Mensch und Rind sowie Haftfestigkeitsmessungen von zahnärztlichen Kunststoffen am Rinderdentin.
Med. Diss. 1979, FU Berlin.
- (92) SWARTZ, M.L./ PHILLIPS, R.W. : A method of measuring the adhesive characteristics of dental cement.
J. Amer. dent. Ass. 50 (1955) S. 172 - 177.
- (93) TAKEUCHI, M./ KIZU, T. : Sealing of the pit and fissure with resin adhesive.
Bull. Tokio Dent. Coll. 7 (1966) S. 50.

- (94) VIOHL, J. : Wie tief polymerisieren UV-härtende Kunststoffe?
Dtsch. Zahnärztl. Z. 33 (1978) S. 476.
- (95) WEI, Y./ : Effect of topical fluoride
STEPHEN, H. solution on the enamel surface
as studied by scanning electron
microscopy.
Caries Res. 9, S. 445.
- (96) WILLIAMS, B.F. et al.: Tensile bond strength between
fissure sealants and enamel.
J. dent. Res. 53, S. 23.
- (97) WILSON, A.D./ : Fissure sealing and filling
McLEAN, I.W. with an adhesive glass-ionomer
cement.
Brit. dent. J. 136 (1974) S. 269.
- (98) WRIGHT, F.A.C. : Prevention of pit and fissure
caries.
N.Z. dent. J. 69 (1973) S. 77.
- (99) WRIGHT, F.A.C. : Bond strength of a bis-GMA fis-
sure sealant on acid conditioned
enamel.
J. dent. Res. 52 (1973) S. 566.

7. TABELLENANHANG

Erläuterungen zu den Tabellen 15 bis 18:

Haftfestigkeit in N/mm²

Abrißorte:

- am Zahn - ohne Kennzeichnung
- im Material - M
- zum Teil am Zahn, zum Teil im Material - T

Bei Abriß am Zahn:

- trockene Oberfläche - ohne Kennzeichnung
- feuchte Oberfläche - f

F	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
F1	3,2 T	8,5 T	4,18 T	5,67 T	2,7 M	4,72	3,99
	6,2 M	3,3 T	2,97 T	6,21 T	3,91 T	3,24	8,1 M
	6,2 M	3,3 T	4,99	4,72	0,94	3,99	8,9 M
	3,9 M	4,45 T	3,37	6,69 M	0,67 T	3,37	4,53
	1,9	6,75 T		3,24 T	5,4 M	4,32	7,56 M
F2	1,3	8,7 T	9,45 M	6,7 M	5,7 M	8,3 M	6,7 T
	4,7 M	11 M	3,4	8 M	4,5 T	3	5,8 T
	1,35 f	11,34 M	5,7 T	8,4 M	2 T	4,8	6,6 T
	7,4 T	5,5 T	5,1 T	4,7 M	3,1 T		9 T
				7,4 M	4 M		7,1 M
F3	11,2 M	5,5 T	3,5	4 M	4,6 T	9,3	6,75 M
	3,2 T	1,2	8,9 M	5,9	4,7 T	3,6	9,45 M
	5,9 T	11 T	8,2	8,6 M	4,5 M	5,5	2,97
	13,7 M	2,8	7,8 M	7,3	3,6 M		4,7 M
	8,3 M	10 T	3 T	7 M	1,75		4 f
F4	3,8 M	7,8 T	8,1 T	5,1 T	3,8 M	5,4 M	6,6 M
	7,3 M	5,1 T	4,7 T	4,6	3,9 T	6,75	6,75 M
	4,1 T	4,45 T	5,4 T	7,2 M	4,8 M	8 T	7,4 M
	5,7 T	5 T	8,6 M	6,5 T	1,6 T	4,6	5,1 M
	8,4 T	4,8 M		4,3	5,4 M	3,5	

Forts. d. Tab. 15:

F	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
F5	3,4 T	4 T	1,35	3,4 M	2,3 T	5,4	8,1 M
	6,5 T	4,6 T	7,4 T	7,3 M	1,35	8,1 M	7,6
	1,6	11,1 M	3,78	6,2 M	1,6 f	8,9	2
	5,7 M	10,1 T		2,3 T	0,4	8,9 M	7,6 T
	2,4	1,6		6,2 M	3,5	7,6	7,6

Tab. 15: 1. Versuchsreihe - BeO + Sp + Z + F + Z + Ä + V.

V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
4 T	2	4,6 M	2,4	3,2 T	0,8	5,1
2	5,7 M	3,4 T	1,35	2,1 M	1,35	3,5
6,5 T	0,6	2,3	3,8	1 T	0,7	7,8 M
7,4 M	0,8	2	4	1,6	2	1,35 M
2	3,1 T	1,9	2,7	0,5	0,6	6,2

Tab. 16: 2. Versuchsreihe. BeO + Sp + Z + Ä + V.

F	V1	V2
F2	5,2 M	12,8 T
	5,6 M	8,2 T
	7 M	5,5
	7,3 T	7,7 T
	5,7 M	11,75 T

Tab. 17:

3. Versuchs-

reihe.
BeO + Sp +
Z + F + Z +
Ä + V;

BeO + Sp +
Z + Ä + V.

F3	6 M	8,8 M
	6 M	11,2 M
	2,7	14 M
	6,2 M	10,8 M
	5,4 M	13,4 M
-	5,1 M	6,75 M
	6,5 M	0,94
	1,6	9,72
	7,8 M	4,45 T
		7,1 M

F	V1	V2
F2	1,6	2,6
	0,1	2,5
	0,1	1,9
	1,2	2,5
	0,8	2,5
F3	0	
	0,7	
	0	
	0,08	
	0	
F5		1,6
		1,2
		2,7
		2,1
		2,7

Tab. 18: 4. Versuchsreihe. $\text{BeO} + \text{Sp} + \text{Z} + \text{Ä} + \text{F} + \text{V}$.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.H.Lenz für die freundliche Überlassung des Themas und die gleichbleibende Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit, ferner Herrn Dr.K.Dermann für die Hilfe und die Ratschläge bei der Durchführung der Haftversuche und der statistischen Auswertung, sowie Frau B.Scheidereiter für ihre große Hilfsbereitschaft bei den rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen und den phototechnischen Arbeiten.

LEBENS LAUF

Am 11 Dez.1942 wurde ich Kai Noel Röhrich, als Sohn des Dr.med-Hans Röhrich und seiner Ehefrau Ruth, geb.Müller in Temeschburg, Rumänien geboren.

Von 1949-1953 besuchte ich die deutsche Volksschule in Temeschburg.

Von 1953-1960 das Nikolaus Lenau Gymnasium in Temeschburg, an dem ich im Sommer 1960 das Abitur ablegte.

Zwischen 1960-1965 besuchte ich verschiedene Fachhochschulen und studierte 2 Semester an der Technischen Hochschule in Temeschburg.

Von 1965-1970 besuchte ich die Universität Babes-Bolyai, Abteilung Geologie in Klausenburg. Im Sommer 1970 bestand ich das Staatsexamen als Diplom Geologe.

Von 1970-1973 als Dipl.Geologe tätig.

Im Juli 1973 Auswanderung in die B.R.Deutschland.

Von 1974-1975 Dipl.Geologe bei Otto-Gold GmbH in Köln.

Von 1976-1977 Dipl.Geologe beim Geological-Survey in Pretoria, Süd-Afrika.

Ab dem Ws.1977 Studium der Zahnmedizin an der Freien Universität-Berlin.

1978 bestand ich das Vorphysikum und 1980 das Physikum.

Die zahnärztliche Prüfung bestand ich am 18 März 1983.

